SCIENCES ET AVENIR
Sciencesetavenir.fr
Exemplaire LeKiosk

SE SOIGNER PAR LES ONDES CÉRÉBRALES

p.66

L'énigme des NOMBRES PREMIERS

p.32

- Les dernières découvertes des scientifiques
- La nature est-elle mathématique ?

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s} = \prod \frac{1}{1-1/p^s}$$

REQUINS

Pourquoi il faut les sauver

OCTOBRE 2013 - N° 800 - 4 €

RENAULT
QUALITY MADE

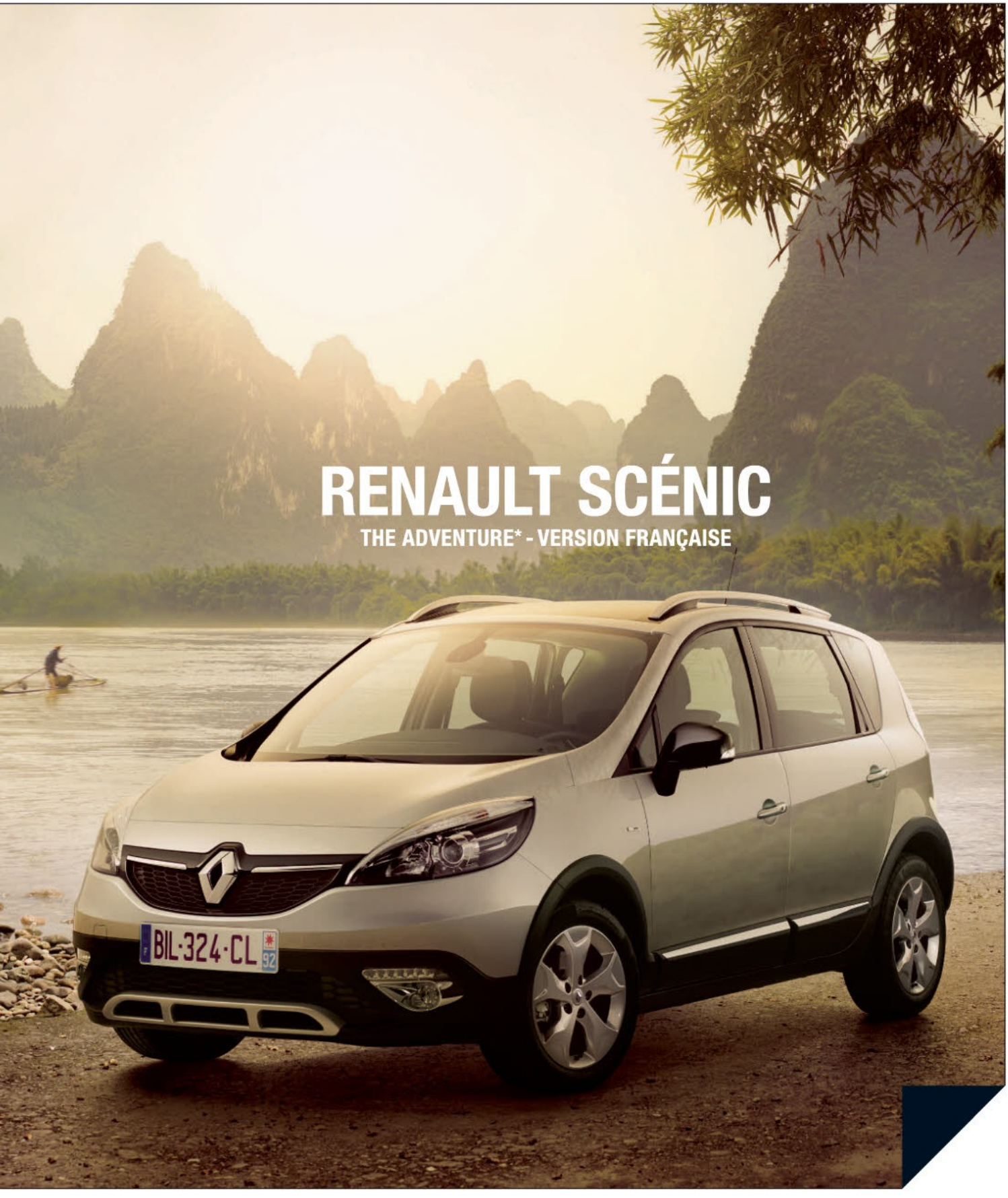
RENAULT SCÉNIC XMOD. LE SCÉNIC RÉINVENTÉ.

AVEC EXTENDED GRIP** POUR ADHÉRER À LA ROUTE EN TOUTES CONDITIONS.

Consommations mixtes min/max (l/100 km) : 4,1/6,4. Émissions CO_2 min/max (g/km) : 105/145.
Consommations et émissions homologuées.

RENAULT QUALITY MADE : la qualité par Renault. *L'aventure. **Disponible en option.

Renault préconise elf



RENAULT SCÉNIC

THE ADVENTURE* - VERSION FRANÇAISE

CHANGEONS DE VIE
CHANGEONS L'AUTOMOBILE

RENAULT

récylum

Éco-organisme à but non lucratif

RECYCLER SES LAMPES, TOUT LE MONDE S'Y MET.

Posterscope agency - Récylum : RCS Paris B 482 323 946 - © Lucky Comics 2013.

Vous aussi, déposez-les en supermarché, magasin de bricolage ou déchèterie.

Ce geste simple préserve les ressources naturelles et évite les risques de pollution. En effet, une fois collectées, les lampes sont intégralement traitées, puis recyclées.

Il n'y a aucune raison de ne pas vous y mettre !

Pour trouver un point de collecte :

www.malampe.org

ÉDITO

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

De l'ordre dans le chaos

Un aphorisme a longtemps fait florès sur ces cartes sentencieuses qu'on peut acheter dans les librairies — et notamment celles des musées scientifiques, tout particulièrement en Californie, en Grande-Bretagne ou en Allemagne : « *Great men are unpredictable* » ou « *Les grands hommes sont imprévisibles* » (1). On peut jurer que l'expression a été retenue, car elle touche chez l'humain à une corde parmi les plus sensibles. Chez les mathématiciens aussi. En effet, au cœur de l'énigme qui fait ce mois-ci la couverture de *Sciences et Avenir*, c'est justement le caractère d'imprévisibilité qui ébranle les spécialistes. Celui de ces objets mathématiques qui répondent à l'impériale épithète de « premiers ». Sonnez tambours, résonnez trompettes, faites entrer les nombres premiers ! Sortes de *primus inter pares*, au royaume de pi, des irréductibles, des imaginaires ou des parfaits... qui ont tout pour nous fasciner, à l'instar des grands hommes, que l'on aime à « panthéoniser ». Et pourtant, leur formulation est incroyablement simple (2), que l'on prononce depuis si longtemps — plus de deux millénaires, nous rappellent les passionnants spécialistes que nous avons rencontrés *(lire p. 32)*. Alors, pourquoi aussi insaisissables qu'une sirène qui plonge dans les abysses ? Et un *eurêka* à leur sujet toujours repoussé ? Les cerveaux humains, armés de leurs fidèles ordinateurs, lancent leurs rets de plus en plus profond, et parviennent de fait à remonter des poissons de plus en plus gros. Notre journaliste rapporte ainsi la dernière pêche miraculeuse en date, avec un nombre premier à plus de 17 millions de chiffres. Mais les mathématiciens ne savent jamais à l'avance si la pêche sera bonne. Pour ratisser plus vite les abysses, ils aimeraient se doter d'une armée de mousses et de moussaillons (nos ordinateurs à la maison, souvent inemployés). Reste qu'aucune carte ne précise où lancer exactement les filets. C'est cette quête que nous racontons ici, redevenue à la mode depuis quelques décennies pour des raisons pratiques (tel le codage RSA, *lire p. 40*). Mais qui, en réalité, prend sa source dans l'inextinguible curiosité des hommes. Et dans leur volonté de découvrir (inventer ?) de l'ordre dans le chaos. En effet, sous les formules, gît la question : la nature et l'Univers sont-ils mathématiques ? Depuis Pythagore qui, tel un gourou, n'hésitait pas à affirmer que « *toute chose est nombre* », l'interrogation n'en finit pas de « percoler » dans les esprits. Et les nombres premiers n'y sont pas pour rien.

(1) Il est toujours amusant de constater les nuances des langues. Ce que les anglophones ne peuvent pas « dire », les francophones ne peuvent pas le « voir » !
(2) Divisibles seulement par 1 et eux-mêmes.

HOMMAGE

Récemment disparus, le généticien **Albert Jacquard** et le cardiologue **Olivier Ameisen**, furent proches de *Sciences et Avenir*. Nous avons tenu à leur rendre un hommage tout particulier sur le site Web du magazine sciencesetavenir.fr, comme indiqué dans nos pages 11 et 26.

SCIENCES ET AVENIR

33, rue Vivienne 75083 Paris Cedex 02
Tél. : - 01.55.35.56.00. Fax : - 01.55.35.56.04
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteurs en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Aline KINER (hors-série) - 01.55.35.56.42
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédactrice en chef adjointe
Andreina DE BEI
(photo-iconographie) - 01.55.35.56.31

Direction artistique
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET
(couverture) - 01.44.88.35.51
Yves CLAVEL
(directeur artistique) - 01.55.35.56.22
Thalia STANLEY
(directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chefs de service
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Mathieu NOWAK (actualités, rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Adjoint au chef de service
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chefs de rubrique
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Sylvie RIOU-MILLIOT
(médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grand reporter
(archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Marc GOZLAN (médecine bio, généraliste) - 01.55.35.56.60
Olivier HERTEL (technologie, futur, décryptage) - 01.55.35.56.03
Cécile MICHAUT
(chimie, nouveaux matériaux) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT
(espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grand reporter
(biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs
Guillaume CANNAT, Loïc CHAUVEAU, Marie-Noëlle DELABY, Pierre MIQUEL, Henri-Pierre PENEL

Assistante de rédaction
Isabelle RUDI-HOUET - 01.55.35.56.30 - irudi@sciencesetavenir.fr

Ont participé à ce numéro
O. AUBRÉE, L. BRASIER, A. DEVILLARD, H. JALINIÈRE, P. KALDY

Secrétariat de rédaction
Frank MIETTON (1re secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette
Horia BAHRI 01.55.35.56.19
Jean-Louis GILABERT 01.55.35.56.28

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT 01.55.35.56.32

Illustration
Sylvie DAOUDAL 01.55.35.56.20
Betty LAFON 01.55.35.56.37

Photogravure
Karine HUET 01.55.35.56.25

Pôle digital
Stéphane DESMICHELLE
(chef de projet santé) - 01.5535.56.24
Damien HYPOLITE
(chef de projet infographie) - 01.55.35.56.23
Joël IGNASSE
(rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Erwan LECOMTE
(chef de rubrique) - 01.5535.56.56

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (chef de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE 01.55.35.56.48

RENSEIGNEMENTS AUX LECTEURS, VENTE AU NUMÉRO
Isabelle RUDI-HOUET 01.55.35.56.50/56.30
33, rue Vivienne, 75002 Paris.
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Fabrication
Xavier LOTH (directeur de la fabrication)
Stéphanie TERREAU (chef de fabrication)
Pierre LE SECH - 01.44.88.36.27

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Nathalie TRÉHIN - 01.55.35.56.13

ABONNEMENTS
Tél. : 01.40.26.86.11
142, rue Montmartre, 75103 Paris Cedex 02
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements :
France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €. Tarifs pays étrangers sur demande.
Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

PUBLICITÉ
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : - 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale
Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité adjoint : Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Directrice de clientèle : Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08
Responsable Web : Amélie LE TALLEC - 01.44.88.89.02
Assistante commerciale : Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57
Exécution : Nicolas NIRO - 01.44.88.89.26
Administration des ventes : Caroline HAHN - 01.44.88. 97.58

VENTES
Numéro vert (réservé aux diffuseurs de Paris et aux dépôts) **0.800. 24.69.33**

Directeur commercial
Jean-Claude ROSSIGNOL - 01.44.88.35.40
Directrice commerciale adjointe
Paule COUDERAT - 01.44.88.34.55
Directeur des ventes
Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements
Philippe MENAT - 01.44.88.35.02 assisté de Lina QUACH 34.54
Relations extérieures
France ROQUE - 01.44.88.35.79

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication :
Claude PERDRIEL
Multimédia : ID OBS, 10-12, place de la Bourse, 75002 Paris. Tél : - 01.44.88.34.34.
Imprimerie SEGO-Taverny. Distribution Presstalis.

OJD PRESSE PAYANTE Diffusion Certifiée 2012

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec Sciences et Avenir, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend, jetés sur couverture, un encart Édition Atlas sur la totalité de la diffusion abonnés, et un encart Paris Match et un catalogue Objets du mois en diffusion partielle des abonnés. Commission paritaire n° 0615 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

MGEN pour tous
est votre complémentaire santé. Efficace et adaptée aux besoins de chacun, elle garantit des prestations de qualité, quelle que soit la formule choisie.
mgenfilia.fr

MGEN Collectives, c'est la solution de protection sociale collective en entreprises et organisations. Construite sur mesure avec votre employeur, elle vous permet de bénéficier des garanties les plus adaptées en santé et prévoyance.
mgen.fr

AGENCEL2OM.COM Photos : © Jean-Pierre Salle - Septembre 2013

"Depuis 66 ans, la MGEN a évolué. Désormais, elle offre des solutions à tous, quel que soit notre statut ou notre situation. Bien plus qu'une mutuelle, la référence solidaire !"

MGEN offre une protection sociale complète aux fonctionnaires de l'État dans l'Éducation nationale, l'Enseignement supérieur, la Recherche, la Culture et la Communication, la Jeunesse et les Sports.
mgen.fr

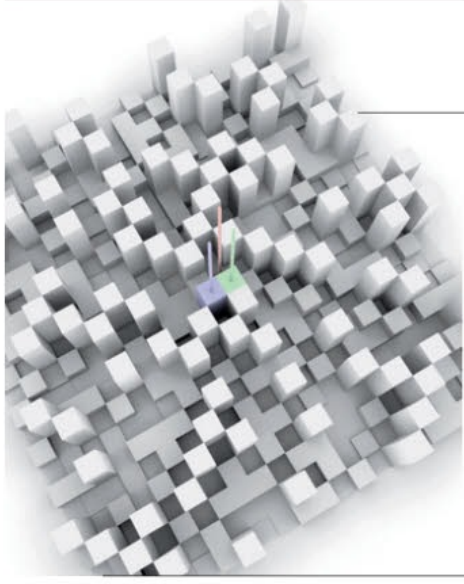
MGEN

MUTUELLE SANTÉ • PRÉVOYANCE • AUTONOMIE • RETRAITE

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation nationale, immatriculée sous le numéro SIREN 775 685 399, MGEN Vie, immatriculée sous le numéro SIREN 441 922 002, MGEN Filia, immatriculée sous le numéro SIREN 440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du code de la Mutualité.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 800 / Octobre 2013



GRAIG S. KAPLAN/UNIVERSITY OF WATERLOO

DOSSIER P. 32

L'énigme des nombres premiers

Cette suite de nombres uniquement divisibles par un et par eux-mêmes fascine les mathématiciens qui tentent d'en percer le mystère depuis 23 siècles.

5 Édito par Dominique Leglu

9 Courrier

ÉVÉNEMENT

10 Le baclofène au banc d'essai

SCIENCES FONDAMENTALES

14 **ACTUALITÉS** / Sous les volcans, des langues brûlantes / L'horloge la plus précise au monde / Voyager 1 est désormais hors du système solaire

42 Ariane 6, l'espace à bon marché

46 Les statistiques, un outil pour comprendre les mots du vin

48 Marc Lachièze-Rey : « La notion de temps n'a pas de sens »

HISTOIRE

16 **ACTUALITÉS** / L'Amérique gravée sur un globe de 1504 / Les grands herbivores ont fertilisé les sols de l'Amérique du Sud / Les chasseurs-cueilleurs domestiquaient des cochons

50 Les moulages d'Angkor aux sources du mythe

54 La machine à décrypter les rouleaux de parchemins

56 Des tunnels pour esclaves sous la villa d'Hadrien

57 Sélection livres et DVD

NATURE

20 **ACTUALITÉS** / La taille des cornes ne fait pas tout / Une grenouille entend par la bouche / L'océan Pacifique joue les temporisateurs

58 Les énergies marines ont le vent en poupe

62 Pierre-Henri Gouyon, le passeur de Darwin

64 La 3e révolution industrielle est en marche dans le Nord

65 Sélection livres et DVD

SANTÉ

24 **ACTUALITÉS** / Un petit Velux dans la tête / Le smartphone se fait ophtalmo / Arrêt du tabac : la flore intestinale responsable de la prise de poids

66 Se soigner par les ondes cérébrales

70 Tout est-il bon dans le champignon ?

72 La thérapie génique pour contrer l'hémophilie

75 Revue de presse

76 Un bourgeon de cerveau créé en laboratoire

78 Des souris vivantes ont produit des cellules souches

79 Sélection livres

HIGH-TECH

28 **ACTUALITÉS** / Les ondes radio, une source d'énergie / Communiquer par la pupille / Imprimer son appareil photo en 3D

80 La nouvelle vie des données publiques

83 Quand la pensée d'un humain fait agir un autre à distance

84 Aérogels : légers mais costauds

86 Sélection livres

SCIENCE PRATIQUE

87 À l'épreuve des faits : la cure d'eau Quinton

88 Comment réalise-t-on un test génétique ?

90 Test : les phablettes

94 L'observation du ciel d'octobre

96 Rendez-vous

98 L'info en continu sur sciencesetavenir.fr

THIERRY OLLIVIER/RMN

Angkor : les moulages qui ont fait sa renommée p. 50

BRUNO CHARDOY/PASCO&CO

Pierre-Henri Gouyon, un spécialiste de l'évolution p. 62

DR

Plus grandes qu'un smartphone, plus petites qu'une tablette, les phablettes cumulent les fonctions p. 90

Avec plus d'1 million de Sociétaires, on peut déplacer des montagnes

Quand une banque tire sa force de l'esprit coopératif, elle s'appuie sur des valeurs de solidarité, d'écoute et de confiance. *Créée par des enseignants, la CASDEN s'engage ainsi auprès de plus d'un million de Sociétaires à réinvestir leur épargne dans le financement des projets de chacun.*

Rejoignez-nous sur **casden.fr** *ou contactez-nous au* **0826 824 400***

**Accueil téléphonique ouvert de 8h30 à 18h30 du lundi au vendredi (0,15€ TTC/min en France métropolitaine)*

+X BANQUE POPULAIRE

L'offre CASDEN est disponible en Délégations Départementales et également dans le Réseau Banque Populaire.

casden BANQUE POPULAIRE

CASDEN Banque Populaire - Société Anonyme Coopérative de Banque Populaire à capital variable. Siège social : 91 Cours des Roches - 77186 Noisiel. Siret n° 784 275 778 06842 - RCS Meaux. Immatriculation ORIAS n° 07 027 138 - BPCE - Société anonyme à directoire et conseil de surveillance au capital de 467 229 960 €. Siège social : 50 avenue Pierre Mendès France - 75201 Paris Cedex 13. RCS PARIS n° 493 455 042. Immatriculation ORIAS n° 08 045 100

BROCA&WERNICKE - Illustration : Killoffer.

CASDEN, la banque coopérative de l'éducation, de la recherche et de la culture

COURRIER

« Qu'il existe dans l'Univers des intelligences supérieures à nous je le conçois, mais cela ne leur donne pas autorité pour être appelées "Dieu". »

Jacques Cervos (69)

◀ **Les extraterrestres** (*Sciences et Avenir* n° 798, août 2013).

Courriels à : **redaction@sciencesetavenir.fr**

« La greffe ultime : une tête sur un corps »
(*Sciences et Avenir* n° 798, août 2013, p. 70)

Quelle est l'utilité d'une telle opération ?

LA QUESTION DE L'UTILITÉ peut se poser dans le cas des tétraplégiques dès lors que cette pathologie est d'origine mécanique consécutive à la rupture de la moelle épinière. En effet, si l'on est capable de « raccorder » celle d'un vivant à celle d'un mort, pourquoi ne pas tenter cette opération directement sur le vivant ? Par contre, bien que ne connaissant pas la pathologie dont souffre Stephen Hawking, cette opération pourrait peut-être être justifiée dans son cas. Maintenant, quant à savoir quoi de la tête ou du corps est réellement greffé, je pense que le problème se pose sérieusement. À première vue, il paraît évident que l'intégrité de la personne est localisée dans le cerveau donc dans la tête. Ce serait donc bien le corps qui serait greffé sur la tête. Toutefois, les deux éléments sont-ils aussi indépendants ? Il semble que non. Mais c'est sans compter avec l'importance d'une glande comme la thyroïde, à moins qu'elle ne soit greffée avec la tête. Quoi qu'il en soit, le résultat sera bien une chimère et l'on est en droit de se poser la question de l'utilité de l'opération.

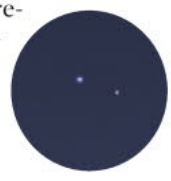
Jean-Paul Ley, courriel

S. et A. Les recherches autour de la réparation de la moelle épinière sont, en effet, plus que jamais d'actualité avec des résultats spectaculaires chez le rat et le chien *(lire le dernier hors-série de* S. et A. n° 176, *octobre/novembre 2013)*. Elles ouvrent bien plus de perspectives pour les tétraplégiques que cette chirurgie de l'extrême (greffer un corps sous une tête), qui — comme vous le soulignez — pose des questions éthiques innombrables.

Un couple photogénique

J'AI ÉTÉ SURPRIS, dans le n° 799 daté de septembre de voir écrit, concernant la photo *(ci-contre)* du système Terre Lune, que c'était la première prise par une sonde spatiale. Pour mémoire, la sonde Cassini et la sonde Messenger avaient déjà photographié ce couple. C'est ce délicat spectacle que les voyageurs pour Mars verront apparaître au fur et à mesure de leur éloignement de leurs planète et satellite d'origine. De quoi angoisser !

Fabrice Gonzalez (13)



NASA/JPL - CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE

S. et A. : Vous avez tout à fait raison : une erreur s'est glissée dans notre article. Le couple Terre Lune avait déjà été photographié auparavant, en 2006 et en 2010.

Mystérieuses voix électroniques

DANS VOTRE ARTICLE « Le phénomène de voix électronique » du n° 798 d'août, je suis déçu de voir tourner en dérision et de lire un article complètement à charge face au phénomène des voix électroniques encore inexpliqué. En étudiant objectivement un peu le sujet on se rend compte que certaines peuvent être « intelligentes » et répondre à des questions données bien plus complexes qu'un « bonjour ». Des phrases entières ont même été enregistrées. Admettez que l'objectivité et l'ouverture d'esprit sont des conditions *sine qua non* à la compréhension d'un phénomène. Cela ne remet pas en cause, bien entendu, la qualité de votre merveilleux magazine et je comprends que parfois l'on peut laisser transparaître ses convictions.

Éric Lechanoine (45)

S. et A. Nous regrettons que vous ayez pu penser que notre article sur les voix électroniques visait à tourner en dérision ce phénomène. Car l'objectif de cette page est de mettre à l'épreuve des faits, et en toute objectivité, des procédés, des produits, des pratiques ou encore des phénomènes qui semblent manifester des propriétés extraordinaires. L'enquête consiste en une revue la plus exhaustive possible de la littérature scientifique sur le sujet. Or, dans ce cas précis, il n'y avait rien qui permettrait d'attester la réalité de ce phénomène.

PRÉCISION

Les liens Internet

PLUSIEURS DE NOS LECTEURS nous ont écrit à propos des liens Internet conseillés dans le magazine et commençant par les lettres sciav.fr/. Il faut bien taper l'intégralité du lien, avec tous les caractères derrière le « / » pour accéder à l'article Web auquel nous faisons référence. Et, c'est primordial, en respectant majuscules et minuscules. Si vous tapez uniquement sciav.fr vous accéderez à la page twitter du magazine, dans laquelle sont agrégés tous les liens conseillés par la rédaction, et qui est réactualisée plusieurs fois par jour. Si vous-même êtes sur Twitter, vous pouvez d'ailleurs vous abonner à cette page pour devenir un « follower » de *Sciences et Avenir*.

Le baclofène au banc d'essai

Le monde de l'alcoologie se rend enfin à l'évidence : ce décontractant musculaire est aussi efficace pour supprimer la dépendance à la boisson. Deux essais cliniques sont en cours, préalable indispensable à une autorisation de mise sur le marché. Reste l'inconnue des effets secondaires...

PAR Hervé Ratel

LA FIN DE LA TRAVERSÉE DU DÉSERT s'annonce peut-être pour tous ceux qui prônent l'utilisation du baclofène dans le traitement de l'alcoolisme. Avec deux essais cliniques en cours *(voir le tableau p. 12)* et une recommandation temporaire d'utilisation (RTU) *(lire* S. et A. *n° 797, juillet 2013)* accordée par l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM), et dont l'entrée en application devrait intervenir dans quelques semaines, ce médicament pourrait enfin sortir de la clandestinité. Un pas déterminant tant les pouvoirs publics ont fait preuve d'inertie depuis la publication, en 2008, du livre témoignage d'Olivier Ameisen, décédé le 18 juillet *(lire l'encadré p. 11)*. Dans *Le Dernier Verre*, le cardiologue racontait comment il s'était lui-même guéri de l'alcoolisme par la prise à hautes doses de ce décontractant musculaire, entraînant un véritable engouement pour cette molécule. Les malades, jugeant ce médicament « miraculeux », avaient aussitôt demandé à leur médecin traitant de le leur prescrire, s'unissant par milliers dans des forums d'entraide (baclofene.com et baclofene.fr) et considérant Olivier Ameisen comme leur sauveur. On estime ainsi à 50 000 le nombre de personnes actuellement sous baclofène. Un chiffre extrapolé à partir de la seule source disponible, le nombre de boîtes de ce médicament écoulées sur le territoire... En face, les professionnels de l'alcoologie ont vu d'un mauvais œil qu'un cardiologue vienne bousculer leurs habitudes de prescription avec un médicament non reconnu pour cet usage. *Sciences et Avenir* avait d'ailleurs été le premier à attirer l'attention à plusieurs reprises sur cette situation hors normes *(lire n° 743, janvier 2009 et n° 769, mars 2011)*.

71 % des alcoologues français le prescrivent désormais

Deux autres handicaps ont contribué à ce que le baclofène ne prenne pas son envol officiel. Tout d'abord, malgré l'engouement suscité, ce médicament générique, tombé dans le domaine public depuis 1990, n'a pas suscité un regain d'intérêt de la part des grands laboratoires pharmaceutiques. Aucun n'a jugé utile d'investir le moindre centime pour évaluer son efficacité dans cette nouvelle indication, pas plus Novartis — son premier fabricant sous l'appellation Liorésal —, que Sanofi qui commercialise la forme générique. Second handicap : l'efficacité potentielle du baclofène se heurte au dogme établi depuis la création des Alcooliques anonymes en 1935, celui de l'abstinence totale comme seule issue possible à l'alcoolo-dépendance. En effet, de l'avis des utilisateurs chez qui le traitement a fonctionné, le baclofène permettrait d'atteindre un stade décrit par Olivier Ameisen comme celui de l'« indifférence ». On pourrait ne plus être dépendant de l'alcool, tout en conti-

RÉMY CORTIN POUR SCIENCES ET AVENIR

Tombé dans le domaine public depuis 1990, le médicament est commercialisé en France par le laboratoire Zentiva, branche de Sanofi spécialisée dans les génériques. Sa formulation en comprimés de 10 mg est mal adaptée à l'utilisation contre l'alcoolisme qui nécessite de fortes doses.

nuant à boire un verre de temps en temps. Impensable pour la doxa.

Malgré ces réticences, les lignes de front ont cependant fini par bouger ces derniers mois. Le monde de l'alcoologie a dû en effet se rendre à l'évidence : à en juger par les témoignages rapportés, le baclofène est efficace. Davantage même que tous les médicaments « officiels » actuellement prescrits contre l'alcoolo-dépendance comme l'Aotal ou le Revia. Preuve en est qu'aujourd'hui et *« selon une enquête récente menée par la SFA, la Société française d'alcoologie, auprès de ses 400 membres, 71 % d'entre eux prescrivent du baclofène, le plus souvent à hautes doses »*, précise Benjamin Rolland, praticien hospitalier au service d'addictologie du CHRU de Lille. Et ils seront peut-être encore plus nombreux fin 2014, lorsque tomberont les résultats des deux essais cliniques randomisés en double aveugle en cours et qu'utilisateurs et promoteurs espèrent positifs, c'est-à-dire avec un taux de réussite au moins égal à 50 %.

Le premier, sous financement public, est placé sous la coordination du Pr Philippe Jaury, de l'université Paris-Descartes. Il répond à l'attente des utilisateurs : démontrer scientifiquement l'efficacité du baclofène dans *« un essai pragmatique,* ▸

HOMMAGE

Olivier Ameisen, pionnier du médicament

Ce brillant cardiologue, mort en juillet, a découvert ses effets.

LEEMAGE

Par la vertu de la messagerie téléphonique, sa voix continue de résonner après ses derniers appels. Il nous lançait une invitation — devrait-on dire exhortation ? — à parler sérieusement, *« pas entre deux verres offerts par des labos, des limites des essais cliniques »* (*lire ci-contre*). Essais sur le baclofène, son médicament. Son obsession. Et puis, il est mort subitement au cœur de l'été, et nous regrettons cette conversation interrompue, commencée cinq ans plus tôt. Révélé fin 2008 par son livre *Le Dernier Verre*, Olivier Ameisen le brillant cardiologue y racontait comment il s'était lui-même libéré de l'envie compulsive de boire. Il en était heureux, mais son anxiété redoublait à l'idée que ce qui l'avait sauvé ne pourrait toucher tous ceux qui devraient en profiter.

« Il ne faut pas d'essais pour des raisons marketing, je ne supporte pas ceux qui ne pensent qu'à s'en mettre plein les poches », nous répétait-il. Cet activisme lui faisait des ennemis mais sa passion avait heureusement bouleversé bien des vies. Sa voix manquera.

Dominique Leglu

À lire aussi sur : http://sciav.fr/1aK1OSo

Deux molécules, trois études en cours

ESSAIS CLINIQUES	TYPE DE PATIENTS	OBJECTIF
BACLOVILLE BACLOFÈNE CLASSIQUE Financement public	**321 patients** majeurs (18 à 65 ans) consultant pour un problème d'alcool, non sevrés ou sevrés depuis moins d'un mois. **Durée de l'étude : 12 mois** **Lieu : France**	Montrer l'efficacité à un an du baclofène avec une consommation d'alcool à faible niveau de risque ou nul. **Résultat : 3e trimestre 2014**
ALPADIR BACLOFÈNE REFORMULÉ (XYLKA) Financement privé (laboratoire ETHYPHARM)	**316 patients** majeurs présentant une dépendance à l'alcool dont la dernière consommation remonte au minimum à 3 jours et ayant déjà fait au moins une tentative de maintien de l'abstinence. **Durée de l'étude : 30 semaines** **Lieu : France**	Évaluer l'efficacité et la tolérance du baclofène dans le maintien de l'abstinence complète. **Résultat : Fin 2014**
SMO GHB EN GRAINS EFFERVESCENTS (ALCOVER) Financement privé (laboratoire D&A PHARMA)	**495 patients** majeurs abstinents depuis au moins 3 jours. **Durée de l'étude : 13 semaines** **Lieu : Europe**	Confirmer l'efficacité de l'Alcover en forme solide dans le maintien de l'abstinence complète. **Résultat : Fin 2014**

n'exigeant pas l'abstinence totale, sans posologie maximale et incluant tous les types de patients, y compris quelques polytoxicomanes », détaille Philippe Jaury. Le second, mené par le laboratoire Ethypharm, ne suit pas cette logique. Son ambition affichée est de mettre sur le marché de nouvelles formulations pour le médicament, actuellement conditionné en France en boîte de 30 pilules de 10 mg. Or, sachant qu'un malade doit ingurgiter, en moyenne, 180 mg de baclofène par jour et parfois bien plus (jusqu'à 700 mg pour certains utilisateurs avant d'atteindre le fameux état d'indifférence à l'alcool), on imagine sans peine la difficulté à avaler quotidiennement des dizaines de comprimés.

L'intensité et l'étendue exactes des effets secondaires sont difficilement évaluables

À l'issue de son essai clinique, Ethypharm compte ainsi demander une nouvelle AMM (autorisation de mise sur le marché) pour commercialiser des comprimés plus dosés. « *Nous allons développer une gamme allant de 10 à 60 mg* », explique Charlotte Haas, directrice des produits de spécialité chez Ethypharm. Bien sûr, ces nouveaux comprimés seront plus chers que les 3,20 € de la forme générique actuelle... Et même si l'assurance-maladie pourra en assurer le remboursement, l'initiative déplaît aux malades car cet essai s'appuie toujours sur le dogme de l'abstinence totale, qui semble désormais caduc.

Actuellement, la majorité des utilisateurs de « baclo » sont suivis par un généraliste ou un psychiatre qui accepte, à titre compassionnel, de leur prescrire le produit hors AMM. Car, livrée à elle-même, sans le soutien de l'alcoologie officielle, la communauté des utilisateurs a remué ciel et terre pour faire entendre sa voix. « *C'est la première fois que nous voyons des alcooliques se battre et demander des médicaments*, appuie Michel Reynaud, de l'hôpital Paul-Brousse, à Villejuif (Val-de-Marne). *C'est un changement majeur, un peu à l'image de la bataille qu'ont livré les malades du sida pour faire pression sur les pouvoirs publics à la fin des années 1980. C'est parce qu'ils ont adopté une démarche activiste que des essais médicaux ont pu être mis en place.* »

Forts de leur émancipation arrachée de haute lutte, les utilisateurs n'ont désormais aucune envie de retourner dans le giron des alcoologues et veulent prendre en charge leur traitement.

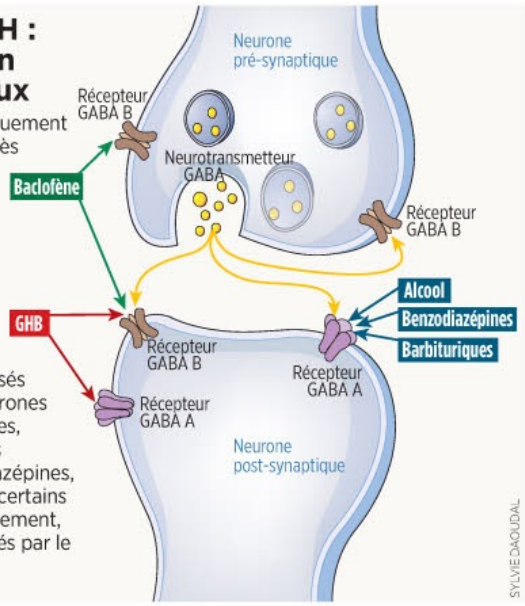
Pourtant, une ombre plane : l'intensité et l'étendue exactes des effets secondaires du baclofène, difficilement évaluables en l'état. L'ANSM s'est émue en août de leur augmentation. En 2012, 263 cas, dont 93 graves, ont été rapportés, soit 163 de plus qu'en 2011. Même si cette hausse peut être imputée à la progression du nombre d'utilisateurs, certains praticiens s'inquiètent. « *J'ai eu des cas vraiment préoccupants*, témoigne l'un d'eux qui souhaite garder l'anonymat. *Des mouvements anormaux, des insomnies épouvantables, des*

« C'est la première fois que nous voyons des alcooliques se battre et réclamer des médicaments »

Pr Michel Reynaud chef du service psychiatrie et addictologie de l'hôpital Paul-Brousse, à Villejuif (Val-de-Marne).

Baclofène et GBH : un mode d'action encore mystérieux

Le baclofène se fixe spécifiquement sur des récepteurs encore très peu étudiés, les gaba B, présents dans les membranes de certains neurones au niveau pré et post-synaptique. Le GHB a un mode d'action similaire mais moins spécifique puisqu'en plus de se fixer sur les gaba B, il se fixe aussi sur les gaba A. Enchâssés dans les membranes de neurones uniquement post-synaptiques, ceux-ci sont la cible d'autres molécules dont les benzodiazépines, les barbituriques, l'alcool et certains anesthésiques. Physiologiquement, gaba A et gaba B sont activés par le neurotransmetteur gaba.



patients qui se sont alors mis à boire plus pour retrouver le sommeil, des états confusionnels extrêmes. Je suis persuadé que tous mes collègues ont observé de tels effets. Seulement, on ne les signale pas. Soit par négligence, soit par militantisme pour ne pas nuire au baclofène... » Délicat à manier avec une posologie devant s'adapter à chaque patient, parfois mal prescrit par des médecins n'ayant pas reçu la formation suffisante, le baclofène pourrait alors faire plus de mal que de bien. « *C'est un traitement qui a parfois des effets spectaculaires mais qui nécessite une surveillance accrue* », explique Benjamin Rolland. Grâce au protocole Camtea, mis en place au CHRU de Lille, la gravité des effets indésirables a pu être diminuée de moitié comparée au reste de la France. « *Le plus important*, poursuit-il, *est d'impliquer les patients dans le protocole et de mettre en place un suivi très régulier.* » Un suivi qui devrait se généraliser le jour où le médicament fera enfin partie intégrante de la pharmacopée.

En attendant, l'ANSM a fait un premier pas, avec la mise en place prochaine d'une RTU permettant aux médecins de prescrire hors AMM dans de meilleures conditions de sécurité. Serait ainsi assortie à cette RTU, l'obligation pour les laboratoires commercialisant le baclofène de mettre en place un suivi des prescriptions. Novartis et Sanofi se trouveraient alors dans la position ironique de devoir surveiller un médicament dont ils se sont désintéressés... Quoi qu'il en soit, l'horizon s'éclaircit et les utilisateurs se réjouissent que leurs appels aient été entendus. Il est plus que temps. On estime que plus de 90 % des alcooliques en France ne seraient ni pris en charge ni soignés. ■

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Forum de l'association Aubes :** www.baclofene.fr
- **Forum alcoolisme et baclofène :** www.baclofene.com
- **Le Dernier Verre,** Olivier Ameisen, Denoël, 298 p., 19 €
- **Vérités et mensonges sur le baclofène.** La guérison de l'alcoolisme, Renaud de Beaurepaire, Albin Michel, 200 p., 15 €

THÉRAPEUTIQUE

Le GHB pourrait aussi aider au sevrage

Le mode d'action de cette molécule, connue comme « la drogue du viol », présente des points communs avec celui du baclofène.

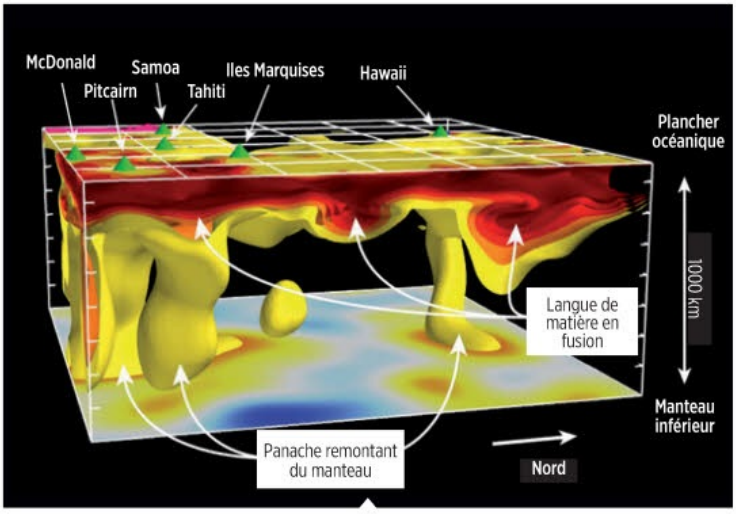
L'engouement pour le baclofène semble avoir donné des idées à certains... Conjointement aux deux essais en cours (*lire ci-contre*), une étude européenne sur l'Alcover vient d'être lancée, à l'initiative du laboratoire français D&A pharma, en vue d'introduire ce médicament dans l'arsenal thérapeutique français. L'Alcover est en effet actuellement commercialisé uniquement en Italie et en Autriche. La molécule le constituant, le GHB, est plus connue du grand public sous le nom de « drogue du viol ». Une appellation qui doit d'ailleurs davantage aux gros titres de la presse à sensation qu'à la réalité. Une étude américaine, menée en 1999 sur 2003 échantillons d'urine prélevés après une agression sexuelle, l'a retrouvée dans seulement 3 % des cas. Très loin derrière ce qui reste la première substance permettant de soumettre chimiquement un individu, à savoir l'alcool (retrouvé dans 63 % des cas)... Synthétisé par le Français Henri Laborit en 1961, le GHB est une substance présente naturellement dans le système nerveux central. « *Par son mode d'action* [voir l'infographie ci-contre], *il présente quelques points communs avec le baclofène* », précise Michel Maitre, de la Faculté de médecine de Strasbourg. Utilisé pour réguler le sommeil des personnes atteintes de narcolepsie, le produit semble présenter un intérêt dans le sevrage alcoolique sans que l'on sache s'il peut, comme le baclofène, induire une « indifférence » à l'alcool. Mais, « *méfiance*, avertit Marc Deveaux, du laboratoire d'expertise judiciaire, Toxlab, *car on ignore encore beaucoup de choses sur le GHB et notamment son pouvoir addictogène. De plus, c'est un produit anesthésique, dangereux sans surveillance médicale et simple à synthétiser.* » En effet, il est très facile de se procurer le précurseur du GHB, la GBL, et donc de le détourner de son usage à des fins récréatives ou délictueuses puisque c'est un solvant utilisé pour nettoyer les jantes de voiture... « *Solution buvable en Italie, l'Alcover se présentera quoi qu'il en soit en France sous forme de grains effervescents pour éviter tout détournement de son usage* », précise Fabrice Debregeas, président de D&A Pharma.

Sous les volcans, des langues brûlantes

Une simulation numérique des entrailles de notre planète révèle de surprenantes langues de matière en fusion.

GÉOPHYSIQUE À notre insu, des langues de matière en fusion s'agitent à des centaines de kilomètres sous la surface des volcans ! Dévoilée dans la revue *Science* du 5 septembre, cette structure particulière a été découverte par une équipe de l'université de Californie à Berkeley (États-Unis) grâce à une simulation numérique des entrailles de la Terre *(voir l'image)*. On y retrouve les remontées de matière chaude depuis la base du manteau, les fameux panaches volcaniques qui, selon les géophysiciens, sont à l'origine des volcans de « *points chauds* » situés au milieu des plaques tectoniques, et qui se distinguent de la grande majorité des volcans placés sur les frontières de plaques. À ces panaches déjà connus se rajoutent, juste sous le plancher océanique, de surprenantes langues de matière chaude dont la température atteint 200 °C de plus que celle des roches environnantes, qui sont déjà à 1300 °C.

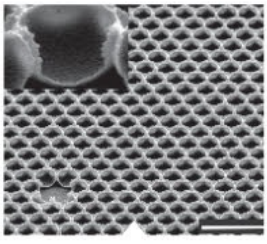
Ces deux structures échangeraient leur matière selon une symbiose encore difficile à comprendre. Pour représenter les contrastes de température du manteau, l'équipe a utilisé des milliards de données sismiques. Prochaine étape : modéliser l'endroit exact où les panaches parviennent sous l'océan. **A. Kh.**



SCOTT FRENCH

La matière chaude sous le plancher océanique atteint une température de 1500 °C.

Un revêtement « carnivore »



WYSS INSTITUTE

La structure alvéolaire repousse l'eau *(en haut)*.

MATÉRIAUX Une surface anti-adhésive inspirée... d'une plante carnivore ! Des chercheurs de l'université Harvard, aux États-Unis, ont fabriqué un revêtement repoussant les liquides, en imitant la paroi des pièges en forme d'urne des plantes carnivores du genre *Nepenthes*. Très glissante, cette paroi ne laisse aucune chance aux proies (insectes, oisillons...) qui tombent dedans. Le secret de ce revêtement ? Il est constitué de minuscules trous régulièrement espacés, puis remplis d'un liquide lubrifiant, qui reste piégé. Les autres liquides ne se mélangent pas avec le lubrifiant et sont repoussés. Parmi les applications possibles : les vitrages autonettoyants, ou la prévention du givre, puisque ce revêtement repousse aussi la glace. **C. M.**

Notre trou noir est à la diète

ASTRONOMIE Le trou noir supermassif du centre de la Galaxie est atypique : il mange peu et semble inactif. Deux découvertes éclairent ce comportement. D'abord, il a pour voisin un magnétar, soit un pulsar doté d'un champ magnétique 1000 fois plus intense que d'ordinaire. Quatre millions de fois plus massif que le Soleil, il est à peine cent fois plus lumineux et pourrait empêcher la matière de tomber vers le trou noir. Ensuite, 99 % des gaz capturés à grande distance sont éjectés avant d'atteindre le trou noir, parce que trop chauds ! **S. R.**

600 millions de tours par minute

Le record de vitesse de rotation d'un objet manufacturé a été battu. À l'aide de lasers, des physiciens ont fait tourner une sphère de 4 µm de diamètre, sous vide et à basse température. Au-delà de l'exploit, il s'agit de comprendre les phénomènes de friction dans les tout petits objets. **C. M.**

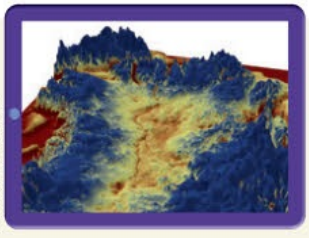
SOURCE : UNIVERSITÉ DE ST ANDREWS

Une scientifique chez les Lego

JEU Son nom : professeure C. Bodin. Son métier : biologiste. La célèbre marque de briques en plastique a lancé sa première figurine « femme de science », 20 ans après sa femme astronaute. Sa biographie indique que cette passionnée a remporté pour ses travaux le prix Nobrick... **H. R.**

LEGO

À VOIR SUR TABLETTE



UNIVERSITY OF BRISTOL

Un canyon géant se cache au Groenland

GÉOLOGIE Sous la calotte du Groenland s'étend un canyon long de 750 kilomètres — 300 km de plus que le Grand Canyon — et profond jusqu'à 800 mètres. C'est à partir des images radar collectées durant plusieurs décennies par des organismes britanniques, allemands ou américains que cette découverte a été faite. Une rivière devait y couler il y a 4,1 millions d'années. Aujourd'hui, ce canyon doit permettre l'écoulement des eaux de fonte des glaciers, ce qui explique l'absence de lacs subglaciaires sur l'île. **S. R.**

ESO

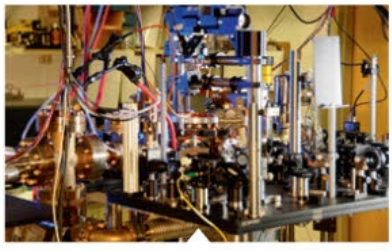
Des nébuleuses mystérieusement alignées

ASTRONOMIE Il existe des étoiles de type solaire qui, lorsqu'elles trépassent, expulsent leurs enveloppes de manière symétrique, en formant comme des ailes de papillons. En étudiant 130 de ces nébuleuses planétaires dites bipolaires dans le bulbe central de la Voie lactée, des astronomes britanniques ont découvert que nombre d'entre elles forment des alignements dans le ciel, leur axe principal aligné sur le plan de la galaxie. Un agencement qui pourrait avoir été ordonné par des champs magnétiques intenses à l'époque de la formation du bulbe. **S. R.**

EN BREF

JODOROWSKY. L'astéroïde 261 690 a reçu le nom du célèbre réalisateur chilien, sur proposition de Jean-Claude Merlin, l'astronome amateur français qui l'a découvert. **ROVER CHINOIS.** La Chine devrait lancer en décembre la mission Chang'e 3 qui déposera un rover à la surface de la Lune. **RECORD VOLCANIQUE.** Avec une superficie de 260 000 m², le massif sous-marin Tamu est le volcan le plus vaste jamais découvert.

L'horloge la plus précise au monde



BURRUS/NIST

Le dispositif fonctionne avec de l'ytterbium.

PHYSIQUE Elle ne dévie que d'une seconde sur un temps aussi long que l'âge de l'Univers, affichant une stabilité cent fois supérieure à celle des horloges atomiques à césium et une précision dix milliards de fois supérieure à celle d'une montre à quartz ! Telle est l'incroyable performance de l'horloge expérimentale de l'Institut national des sciences et technologie (NIST) à Boulder (États-Unis). Elle fonctionne avec 10 000 atomes d'ytterbium refroidis à 10 microkelvins (10 millionièmes de degré au-dessus du zéro absolu, -273,15 °C), là où les horloges atomiques classiques exploitent la fréquence de vibration d'un seul atome de césium. Elle permettra de déceler des effets très subtils de physique fondamentale comme la variation de la gravité à de très petites échelles et de tester la relativité générale à des précisions jamais atteintes. **A. Kh.**

QUESTIONS À

ROSINE LALLEMENT Astrophysicienne à l'Institut Pierre-et-Simon-Laplace, Verrières-le-Buisson

« Voyager 1 est désormais hors du système solaire »

NASA

Sommes-nous sûrs que la sonde Voyager 1 est bien sortie du système solaire, alors qu'en 2012 il y a eu controverse ?
Il y a eu une hésitation en 2012, car la mesure du champ magnétique ne correspondait pas à ce que l'on attendait. Cette fois, la mesure de la densité du milieu est imparable : cela ne peut être du vent solaire dont la densité décline à mesure que l'on s'éloigne du Soleil. À l'héliopause (la limite d'influence du vent solaire), la densité est faible mais la température encore haute. Or Voyager 1 est maintenant dans un milieu où la densité est haute et la température basse, caractéristique du plasma interstellaire.

Quel est ce milieu dans lequel une sonde pénètre pour la première fois ?
Voyager 1 entre dans la nébuleuse galactique, composée de gaz soufflé par les étoiles et de gaz primordial, fabriqué quelques minutes après le Big Bang. En fait, le Soleil se trouve actuellement dans la « Bulle locale », une trouée dans la nébuleuse, traversée seulement par des sortes de petits cirrus, des nuages peu denses. Nous sommes justement dans l'un d'eux, le « Nuage local », dont nous nous apprêtons à sortir... dans deux mille ans environ.

Voyager 1 va-t-il continuer à prendre des mesures ?
Plus que jamais. Pendant cinq à dix ans, la Nasa va explorer pour la première fois ce milieu *in situ*. Et puis il va falloir élucider l'énigme du champ magnétique. Les modèles prédisaient qu'il devait tourner juste après la sortie du système solaire. Or il est encore dans la même direction que le vent solaire. On ne se l'explique pas.

Propos recueillis par S. R.

L'Amérique gravée sur un globe de 1504

Cette sphère faite avec des œufs d'autruche porterait la plus ancienne représentation du Nouveau Monde.

WASHINGTON MAP SOCIETY

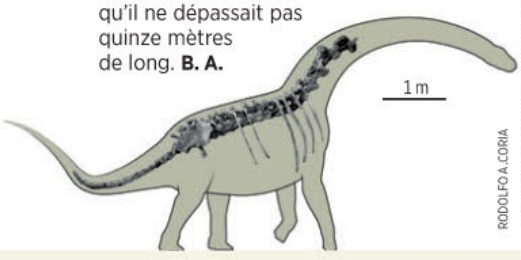
De la taille d'un pamplemousse, le globe aurait pu être réalisé à Florence.

GÉOGRAPHIE Un collectionneur européen de cartes anciennes affirme avoir identifié le plus ancien globe gravé représentant le Nouveau Monde, le *Mundus Novus* découvert en 1492. Il s'agirait de deux moitiés d'œufs d'autruche collées ensemble. Ciselé en 1504, il précéderait de six ans une représentation avec laquelle il partage de grandes similitudes : un globe de cuivre (Hunt-Lenox) conservé à la Bibliothèque publique de New York. L'œuf, dont le propriétaire souhaite rester anonyme, aurait été acheté en 2012 à Londres. La forme de l'Asie refléterait la représentation du monde de l'époque de Colomb, telle qu'elle apparaissait sur la mappemonde de Henricus Martellus (1489-1490).

Outre les connaissances géographiques, le globe informe sur les croyances de l'époque : « *Hic Sunt Dracones* » (« Ici se trouvent les dragons »), peut-on lire au milieu des flots. La grande question est de savoir de quel atelier a pu sortir cette représentation tridimensionnelle de la planète. De leur côté, les cartes de Martin Waldseemüller publiées en 1507 à Saint-Dié-des-Vosges restent les premières au monde à comporter l'inscription « America ». **B. A.**

Une nouvelle espèce de dinosaure herbivore

PALÉONTOLOGIE Un nouveau dinosaure sauropode datant du crétacé supérieur a été identifié en Patagonie, dans la région de Rincon de los Sauces, une localité riche en fossiles située dans la province de Neuquen, au sud de l'Argentine. Baptisé *Overosaurus paradasorum*, cet herbivore dont on a retrouvé une grande partie de la colonne vertébrale ainsi que des côtes et des éléments de hanches, aurait vécu entre -84 et -78 millions d'années. Selon le paléontologue Rodolfo A. Coria, à l'origine de l'étude, les ossements de ce spécimen de la famille des titanosaures indiquent qu'il ne dépassait pas quinze mètres de long. **B. A.**



RODOLFO A. CORIA

R. W. GESS

La pince du scorpion fossilisé mesure 2,5 cm.

360 millions d'années

L'âge du plus vieil animal terrestre découvert dans l'hémisphère Sud

Un fossile de scorpion vieux de 360 millions d'années a été mis au jour en Afrique du Sud. Il a été baptisé *Gondwanascorpio emzantsiensis,* en référence au supercontinent Gondwana qui, au dévonien, réunissait les actuels Amérique latine, Antarctique, Afrique, Australie, Inde et péninsule Arabique. B. A.

SOURCE : ROBERT GESS, UNIVERSITÉ DU WITWATERSRAND, JOHANNESBOURG (AFRIQUE DU SUD).

Les Vikings n'étaient pas les premiers aux Féroé

PEUPLEMENT Les premiers habitants des îles Féroé s'établirent durablement entre le IVe et le VIe siècle de notre ère, soit 300 à 500 ans avant les Vikings. Des archéologues britanniques et féringiens en ont apporté la première preuve matérielle indiscutable après avoir mis au jour, dans une importante formation de sable, des cendres intentionnellement déposées pour prévenir l'érosion — pratique alors commune en Atlantique Nord. En brûlant de la tourbe dans leurs cheminées pour produire ces cendres, les premiers colons, dont l'identité reste mystérieuse, ont aussi calciné par accident des grains d'orge, lesquels ont permis aux chercheurs d'établir l'ancienneté de leur présence par le radiocarbone (ou carbone 14). **L. B.**

L'Égypte perd un musée dans un pillage

ARCHÉOLOGIE Statuettes, bas-reliefs, sarcophages, peintures murales ou bijoux font partie du millier de pièces archéologiques détruites ou volées lors du pillage en règle qu'a subi le musée de Malawi, au sud du Caire. L'événement s'est déroulé en marge des affrontements qui ont embrasé l'Égypte fin août. Selon l'Unesco, qui évoque *« des dommages irréversibles pour l'histoire et l'identité des Égyptiens »*, ces antiquités s'échelonnaient de l'ère pharaonique aux califats omeyyades et fatimides (VIIe-XIIe siècles), en passant par les périodes grecques et romaines. **B. A.**

AFP

Jeep® avec

EXPO MILANO 2015

Jeep.fr

L'AVENTURE AU QUOTIDIEN.

JEEP® WRANGLER PLATINUM EDITION : LA LIBERTÉ EST SANS LIMITE.

Existe en 3 ou 5 portes - Moteur 2,8 l CRD de 200 ch[1] avec Système Stop & Start™ (versions BVM diesel) - Système multimédia à écran tactile avec navigation GPS - Sellerie en cuir partiel - Radars de recul - Jantes alliage 18" à 7 branches - Série limitée à 199 exemplaires. Refusez les conventions et découvrez l'esprit de la liberté chez votre distributeur Jeep®.

GAMME JEEP® WRANGLER À PARTIR DE 29 990 € [2].

Modèle présenté Jeep® Wrangler Sahara Platinum Edition 2,8 l CRD BVM6 avec option coloris spécial : **38 050 €** TTC clés en main selon tarif du 01/10/2013. **(1) Consommations mixtes gamme Wrangler (l/100 km) : 7,1 à 11,7. Émissions de CO_2 (g/km) : 187 à 273.** (2) Prix clés en main conseillé du Wrangler Sport 2,8 l CRD selon tarif du 01/10/2013. I am Jeep® : « Je suis Jeep® ». Jeep® est une marque déposée de Chrysler Group LLC.

i am Jeep 00 800 0 426 5337 00 800 0 IAM JEEP

Suivez Jeep® sur la page facebook.com/JeepFrance

Jeep®

FIELD MUSEUM LIBRARY GETTY IMAGES

L'enrichissement des sols est proportionnel à la taille de la faune, alors très massive.

Les grands herbivores ont fertilisé les sols d'Amérique du Sud

Les déplacements des tatous géants et autres mammifères de gros gabarit ont agi comme une « pompe à nutriments », il y a 30 000 ans.

PÉDOLOGIE Si aujourd'hui le continent sud-américain a un sol fertile, propice à l'agriculture, c'est grâce aux très gros mammifères herbivores qui vivaient dans ces contrées il y a environ 30 000 ans. Glyptodontes, sorte de tatous géants d'au moins une tonne, stégomastodontes, cousins des mammouths, et autres mammifères de gros gabarit ont piétiné cette terre, et enrichi les sols en nutriments — comme le phosphore et l'azote — simplement en se déplaçant pour se nourrir et pour déféquer. Christopher Doughty, de l'université d'Oxford (Grande-Bretagne), et Adam Wolf, de l'université de Princeton (États-Unis), affirment qu'une telle mégafaune fonctionne comme une « pompe à nutriments », fertilisant naturellement les sols en quelques dizaines de milliers d'années. Grâce à une modélisation mathématique inspirée de l'équation de la propagation de la chaleur, ils ont en effet estimé l'efficacité de cette fertilisation. Pour conclure qu'elle est proportionnelle à la masse de l'animal. Et si aujourd'hui le sol s'appauvrit, c'est qu'il y a 12 000 ans, à la fin de la dernière période glaciaire, la mégafaune a commencé à disparaître. **A. Kh.**

NATURE COMMUNICATION

L'analyse des dents a montré qu'il s'agissait de porcs d'élevage.

Les chasseurs-cueilleurs domestiquaient des cochons

PRÉHISTOIRE Un cochon domestiqué chez les chasseurs-cueilleurs : étonnante découverte sachant qu'il y a 7000 ans, les chasseurs de sangliers de l'Europe du Nord ne possédaient ni porcs, ni moutons, ni chèvres, ni vaches, tous introduits par les agriculteurs et les éleveurs venus du Proche-Orient. Pourtant, des analyses effectuées sur les dents et ossements de 63 suidés, provenant de plusieurs sites d'Allemagne du Nord, indiquent bien que ces chasseurs ont parfois possédé des cochons domestiqués, acquis d'une façon ou d'une autre (échange, capture) auprès de ces communautés d'agriculteurs. **B. A.**

1257 Année d'une mystérieuse éruption volcanique

CLIMATOLOGIE Le dérèglement climatique survenu au XIIIe siècle serait dû au volcan indonésien Rinjani, point culminant de l'île de Lambok. En l'an 1257, la plus grosse éruption des 7000 dernières années a envoyé dans l'atmosphère quantité de cendres, masquant le Soleil et provoquant une diminution globale de la température. Les volcanologues tiennent enfin le coupable. **A. Kh.**

SOURCE : FRANCK LAVIGNE, UNIVERSITÉ PARIS-I.

Il y a 7000 ans, on mangeait déjà épicé

NÉOLITHIQUE Les hommes n'ont pas attendu l'Antiquité ni les grandes explorations du XVIe siècle pour épicer et relever le goût de leurs aliments ! Des restes d'herbe à ail (*Alliaria petiolata*) ont été identifiés dans des résidus de graisses cuites de poissons et de viandes, conservés sur des tessons de céramique retrouvés au Danemark et en Allemagne et datés d'environ -7000 ans. **B. A.**

L'ADN d'un ours de 300 000 ans a été séquencé

GÉNÉTIQUE L'ADN mitochondrial extrait d'un os d'ours des cavernes vieux de plus de 300 000 ans a été séquencé. C'est un record d'ancienneté pour un fossile conservé sous nos latitudes, l'os provenant d'une grotte d'Espagne. Plus l'ADN est ancien, plus il est dégradé en petits fragments et la technologie a été adaptée en conséquence. Cette prouesse ouvre la voie au séquençage de vestiges humains antérieurs à *Homo sapiens* et à Neandertal. **P. K.**

SOURCE : JESSE DABNEY, INSTITUT MAX PLANCK, LEIPZIG, (ALLEMAGNE).

FREIE UNIVERSITY BERLIN

10 000 personnes ont été internées à Columbia (Berlin).

Fouille d'un des premiers camps de concentration nazi

ARCHÉOLOGIE Les fouilles archéologiques de l'ancien camp de concentration de Columbia Haus, mis en place par les nazis, à Berlin, en 1933, ont débuté sous la direction de Susan Pollock et Reinhard Bernbeck, de l'Université libre de Berlin. S'il n'est pas l'un des camps les plus connus, il est l'un des tout premiers. Dix mille opposants politiques y ont été détenus. Construit sur ce qui est devenu l'aéroport de Tempelhof (aujourd'hui un parc), il avait été détruit dès 1936. **B. A.**

SUZUKI

Way of Life!*

So sexy...

So Swift

GAMME NOUVELLE SWIFT À PARTIR DE 10 790 €, SOUS CONDITION DE REPRISE (1)

«Je ne résiste jamais à un côté sexy. Ma nouvelle Swift, c'est comme ça qu'elle m'a séduite, son élégance et son design m'ont fait fondre. En 3 ou 5 portes, compacte, maniable et entièrement personnalisable, ma Swift et moi, on se ressemble et notre histoire n'est pas prête de s'arrêter. Et avec tous ces nouveaux équipements, il faut que je me méfie, elle aura bientôt plus de succès que moi.»

GARANTIE ASSISTANCE 3 ANS ou 100 000 km au 1er terme échu

www.suzuki.fr

(1) Prix TTC de la nouvelle Swift 1.2 VVT Avantage 3 portes, après déduction d'un capital reprise de 1 000 € offert par votre concessionnaire Suzuki. Votre concessionnaire Suzuki additionne l'offre capital reprise à la valeur de reprise de votre véhicule, sans condition d'ancienneté, selon les conditions générales de L'argus disponibles en concession. Offre réservée aux particuliers dans la limite des stocks disponibles valable pour tout achat d'une Swift neuve nouvelle gamme du 02/08/2013 au 30/11/2013. **Modèles présentés : Swift 1.2 VVT Pack 5 portes, 13 690 € après déduction du capital reprise de 1 000 € + peinture métallisée So'Color : 750 €.** Consommations mixtes CEE nouvelle gamme Swift (l/100 km) de 3,9 à 5,5 – émissions de CO_2 (g/km) de 101 à 129. Prix TTC conseillés clés en main, tarif au 02/08/2013. *Way of Life!: Un style de vie. Tellement sexy... Tellement Swift.

Dps Conseil - Siret 390295 244 000 11 - Crédit photo : J-M Cras.

PETER KORSTEN

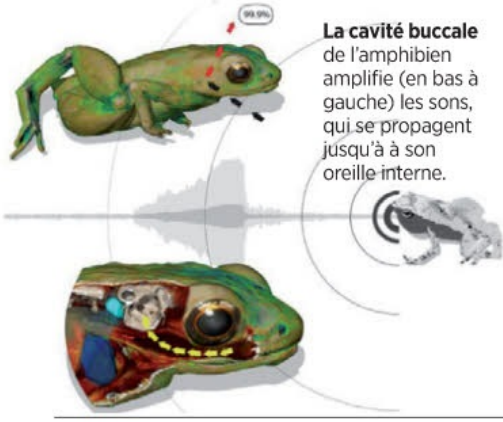
Un bélier porteur de la version du gène pour les petites cornes (à gauche) a de meilleures chances de survie.

La taille des cornes ne fait pas tout

Comment expliquer que des béliers à petites cornes survivent alors que les grandes cornes sont la clé de la séduction des brebis ? L'analyse de l'empreinte génétique a parlé...

ÉVOLUTION Les grosses cornes sont un avantage certain, mais pas suffisant pour éliminer les individus qui en ont de plus modestes. Voilà la leçon que retirent les généticiens de l'université de Sheffield (Royaume-Uni) de l'étude des moutons sauvages de Soay, une île à l'ouest de l'Écosse. L'espèce a en effet pour particularité de compter des béliers à petites ou grandes cornes. La conquête des brebis se fait au moment du rut, lors de combats au cours desquels les animaux à grandes cornes sont avantagés. Pourtant ceux qui en sont dépourvus ne semblent pas être en déclin, alors qu'on pourrait s'attendre à ce que ce trait physique soit évincé par la sélection naturelle.

L'analyse de l'empreinte génétique de 1750 individus depuis 1985 a permis d'identifier le gène responsable de la taille des cornes. Il présente deux versions différentes, correspondant aux individus à petites et à grosses cornes. Mais les scientifiques ont découvert que les moutons à petites cornes ont un avantage évolutif : ils vivent plus longtemps. Ainsi, même s'ils ont moins de chances de se reproduire, leur durée de vie contribue à maintenir leurs caractères anatomiques. Reste à comprendre cette différence de longévité. Une explication serait que n'ayant pas à défendre un harem, ils auraient une vie nettement moins stressante. **L. C.**



La cavité buccale de l'amphibien amplifie (en bas à gauche) les sons, qui se propagent jusqu'à à son oreille interne.

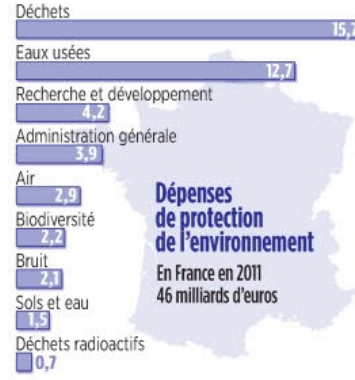
Une grenouille entend par la bouche

ZOOLOGIE Nul besoin de tympan : aux Seychelles, la minuscule grenouille de Gardiner est dotée d'une bouche à la fois puissante et sensible pour entendre. La cavité agit comme un amplificateur des fréquences de sons émises par les autres grenouilles de son espèce. Les rayons d'un synchrotron ont révélé que l'épaisseur des tissus mous et osseux entre l'oreille interne et la bouche se réduisait quand nécessaire pour faciliter la transmission du son. **R. M.**

SOURCE : RENAUD BOISTEL, CNRS/UNIVERSITÉ DE POITIERS.

Un peu plus d'argent pour l'environnement

BUDGET En 2011, la France a dépensé 46 milliards d'euros pour la protection de l'environnement (sur un PIB qui dépasse 2700 milliards d'euros). Soit une croissance de 3,2 % par rapport à 2010. Les investissements dans la recherche et la protection de la biodiversité augmentent de 10 %. En revanche, les budgets liés à la qualité de l'air, aux sols et à la gestion des déchets radioactifs diminuent. **L. C.**



S. DAOUDAL

SOURCE : COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE.

Les oiseaux respectent le code de la route

ÉTHOLOGIE Les oiseaux connaissent les vitesses maximales sur les routes ! En effet, lorsqu'ils se promènent sur la chaussée, ils adaptent le moment de leur envol non pas à la voiture qui arrive mais à la vitesse maximale autorisée ! Ils la déduisent sans doute de l'observation des voitures lorsque la route est dégagée. **M. N.**

SOURCE : PIERRE LEGAGNEUX, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI (CANADA).

AFP

Le volatile adapte son envol à la vitesse maximale autorisée sur la voie.

Thermor
Radiateurs électriques & Chauffe-eau EnR

« Avec mes nouveaux radiateurs, j'ai gagné en confort et en économies »

VU À LA TV

Thermor innove avec les **radiateurs chaleur douce** équipés de la détection de présence

Thermor, fabricant français, propose **38 modèles de radiateurs chaleur douce.**

La conception de ses radiateurs **vous garantit le confort d'une chaleur douce et enveloppante** dans toute votre maison et une parfaite maîtrise de votre consommation d'énergie en s'adaptant automatiquement à votre rythme de vie.

FABRIQUÉ DANS NOS USINES EN FRANCE

Thermor-Pacific SAS au capital de 3 917 780 € - RCS Orléans B329 545 008 - EFIL WWW.EFIL.FR / 2013C705

Demandez vite le **"guide des radiateurs chaleur douce"** !

☐ **OUI, je souhaite recevoir gratuitement le "guide des radiateurs chaleur douce"**

En ce moment, jusqu'à 300 € remboursés pour l'achat de radiateurs chaleur douce Bilbao 2 et Équateur 2 (1)

☐ M. ☐ Mme ☐ Mle

NOM ..... PRÉNOM .....

ADRESSE .....

CODE POSTAL ..... VILLE .....

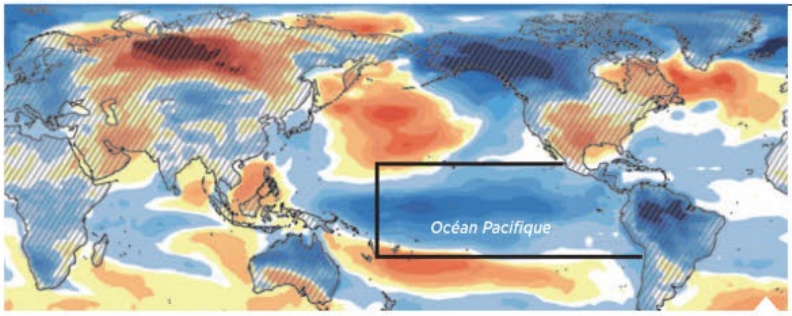
TÉLÉPHONE ..... E-MAIL (EN MAJUSCULE) .....

Renvoyez le coupon complété sous enveloppe affranchie à : ANRH/Thermor, 28 rue des châtelliers, 45000 Orléans

(1) Offre réservée aux particuliers, 75€ par produit acheté et posé. Limitée à 4 produits par foyer. Durée limitée, modalités sur www.thermor.fr

Conformément à la Loi Informatique et Libertés n°78.17 du 6 janvier 1978 - Art 27, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant.

SA2609



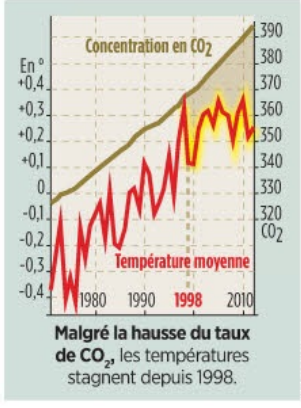
INFOGRAPHIE : S. DAOUDAL - SOURCE : NATURE

Les eaux de surface du Pacifique se sont refroidies sur la période 2002-2012.

L'océan Pacifique joue les temporisateurs

Alors que le réchauffement climatique est en cours, les températures n'augmentent plus. Explications.

CLIMATOLOGIE Les températures mondiales ont cessé d'augmenter depuis 1998... Mais cela ne signifie pas qu'il n'y a pas (ou plus) de réchauffement climatique. Le sujet a beaucoup occupé les climatologues, qui ont multiplié les hypothèses pour expliquer ce palier alors que les teneurs en CO_2 ont continué de grimper : activité solaire, présence plus importante d'aérosols dans l'atmosphère réfléchissant le rayonnement du soleil, diminution de la vapeur d'eau...



Malgré la hausse du taux de CO_2, les températures stagnent depuis 1998.

S. DAOUDAL

Mais ce pourrait être encore autre chose : deux chercheurs du Scripps Institute (San Diego, Californie) expliquent que le responsable serait l'océan Pacifique, dont la température de surface aux équateurs a diminué de 1 °C depuis 1998, provoquant, par absorption de la chaleur atmosphérique, une baisse des températures mondiales moyennes de 0,29 °C. Ses eaux sont affectées par *« l'oscillation tropicale du Pacifique »*, un cycle climatique qui alterne eaux chaudes et froides sur l'ensemble de l'océan et dure des décennies. *« Ce phénomène n'était pas pris en compte par les modèles climatiques*, explique Yu Kosaka, l'un des auteurs de l'étude. *Or, en introduisant la température océanique du Pacifique équatorial, ils reproduisent parfaitement la stagnation des températures.* » C'est ainsi qu'une région ne représentant que 8 % de la surface terrestre pourrait influer sur les températures à l'échelle mondiale. Mais à l'avenir, l'inversion de l'oscillation tropicale devrait provoquer un retour de la hausse des températures. **L. C.**

Les glaciers alpins victimes de l'industrie au charbon

ENVIRONNEMENT Si les glaciers alpins ont commencé à fondre dès 1860, avant même la hausse des températures attestée depuis 1910, c'est à cause de l'usage du charbon. Les suies qui se déposent sur la neige les assombrissent, les glaciers absorbant alors plus de chaleur. Les chercheurs ont analysé des carottes de neiges de l'ère industrielle à aujourd'hui, avant de modéliser l'impact de cet aérosol goudronneux sur la dynamique des glaciers : c'est bien l'activité humaine qui a mis fin au petit âge glaciaire. En outre, depuis 1975, les suies ont contribué trois fois plus à la fonte des glaciers qu'avant 1860. **R. M.**

SOURCE : THOMAS PAINTER, CALTECH (ÉTATS-UNIS).

Les poissons rouges sont mélomanes

SHINOZUKA, KAZUTAKA

Ce cyprinidé a appris à distinguer Bach de Stravinsky.

ÉTHOLOGIE Les poissons rouges peuvent distinguer Bach de Stravinsky, selon une expérience de l'université Keio (Japon). Deux cyprinidés ont été entraînés à mordre une perle — avec une récompense à la clé — lorsque retentissaient la *Fugue* et la *Toccata en ré mineur* (Bach). Deux autres ont été dressés à réagir au *Sacre du printemps* (Stravinsky). Puis, les chercheurs ont diffusé les deux morceaux : aucun poisson ne s'est trompé. Ils ne savent donc pas seulement faire la différence entre le silence et la musique humaine (ou des bruits de fond), mais aussi entre deux morceaux. Une capacité déjà démontrée chez les carpes, les rats et des oiseaux. **R. M.**

26,6 km par décennie

La progression vers les Pôles des ravageurs des cultures depuis 1960

L'étude concerne 612 espèces (insectes et parasites (virus, champignons, bactéries) responsables de 10% à 16% des dégâts sur les cultures. Elles auraient donc progressé de 133 kilomètres en un demi-siècle. Un travail précédent montrait que les animaux sauvages et la végétation progressaient de 17,6 km vers les pôles et 12,2 m en altitude par décennie. **R. M.**

SOURCES : DANIEL BEBBER, UNIVERSITÉ D'EXETER ; I-CHING CHEN, UNIVERSITÉ D'YORK (ROYAUME-UNI).

INSTITUT PASTEUR

À VOIR SUR TABLETTE

Zoom sur le moustique en action

ENTOMOLOGIE Une piqûre de moustique vue depuis l'intérieur du corps : cette vidéo a été réalisée à l'Institut Pasteur sur une souris anesthésiée, grâce à une technique nouvelle, la vidéoscopie intravitale. Celle-ci permet d'obtenir des images à travers l'épiderme. On y voit que la trompe du moustique n'est pas rigide mais mobile et souple, ce qui lui permet de chercher le vaisseau sanguin dans lequel elle va pomper le sang. Étonnant. **J. I.**

SOURCE : VALÉRIE CHOMET, INSTITUT PASTEUR, PARIS.

VIVEZ
une expérience immersive 3D sur Mars, dans la savane et sur la banquise

Sciences au CARRÉ

PLACE CARRÉE
FORUM
DES HALLES
PARIS 1ER

de 12h30
à 19h00

du 17 au 19 octobre 2013

De nombreux scientifiques

expliqueront simplement comment la science contribue à relever les défis sociétaux d'aujourd'hui et de demain.

Des « objets mystères »

à découvrir chaque jour.

De grandes personnalités du monde scientifique

à rencontrer lors de rendez-vous quotidiens.

Des animations

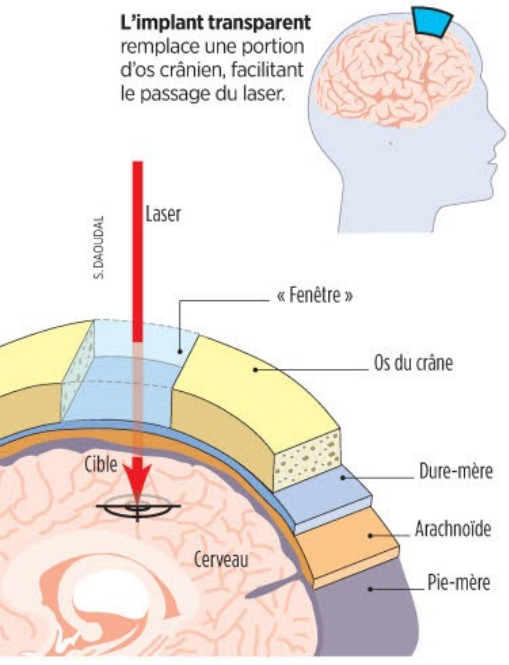
ludo-pédagogiques pour petits et grands.

#SciO2

FÊTE DE LA SCIENCE
du 9 au 13 octobre 2013
www.fetedelascience.fr

brgm · cea · cirad · cnes · cnrs · IFP Energies nouvelles · Ifremer · IGN · INRA · Inria · Inserm · IRD · irstea · METEO FRANCE

AVEC LE SOUTIEN DE : casden · COMMENT ÇA MARCHE · forum des Halles · MAIRIE DE PARIS · Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche · SCIENCE · SCIENCES AVENIR · SCIENCES SUR SEINE · SemParisSeine



Un petit Velux dans la tête

Cette « fenêtre sur le cerveau » permettrait de réaliser de l'imagerie mais aussi des traitements laser sans avoir à ouvrir le crâne.

NEUROLOGIE Un implant transparent, inséré dans le crâne, pourrait servir littéralement de « fenêtre sur le cerveau ». Voilà ce que teste l'équipe de Guillermo Aguillar, professeur à l'université de Californie à Riverside (États-Unis). L'idée est d'implanter une plaque composée de zircone stabilisé à l'yttrium, un matériau biocompatible, très résistant aux chocs, utilisé pour les prothèses. D'ordinaire, le matériau est opaque. Mais, pour cet essai, il a été produit dans des conditions de pression et de température particulières qui le rendent transparent. Réalisée chez la souris, l'implantation est un succès. « *Avec la technique de tomographie à cohérence optique, qui utilise une source laser, on obtient une meilleure image du corps calleux (commissure reliant les deux hémisphères cérébraux) à travers l'implant qu'à travers le crâne* », souligne Guillermo Aguila.

À terme, il s'agira de réaliser aussi des traitements laser, notamment de cancers ou de l'épilepsie, sans avoir à ouvrir le boite crânienne. « *Reste à mener des études de biocompatibilité chez l'humain avec le matériau sous cette forme*, poursuit le chercheur. *Nous cherchons aussi les façons de rendre le cuir chevelu transparent temporairement, afin que l'imagerie ou des gestes thérapeutiques n'obligent pas à retirer le scalp à chaque fois.* » **E. S.**

Les lunettes connectées passent au bloc

CHIRURGIE Des chirurgiens ont opéré avec, sur le nez, les lunettes connectées, Google Glass. Deux Américains et un Espagnol ont été choisis par le géant californien pour cette première. Les différentes étapes des trois interventions (pose d'une sonde dans l'estomac, greffe de cartilage, réparation d'un ligament du genou) ont ainsi été filmées par les caméras intégrées aux lunettes et diffusées en temps réel sur Internet. Avec, à la clé, des échanges en direct entre les chirurgiens et leurs confrères parfois situés à l'autre bout de la planète afin d'optimiser les gestes. À l'avenir, ces lunettes pourraient transmettre des informations sur le patient pendant l'opération. **S. R.-M.**

OSUMC

La caméra intégrée dans les lunettes permet au chirugien d'être connecté avec des confrères.

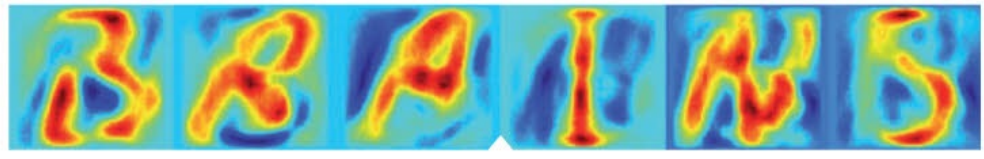
INSTITUT PASTEUR/F. GARDY

Margaret Buckingham, médaille d'or du CNRS 2013

C'est la troisième femme à recevoir la plus haute distinction scientifique française, depuis sa création en 1954. D'origine écossaise, Margaret Buckingham, 68 ans, est une spécialiste franco-britannique de la biologie du développement. Elle a essentiellement travaillé sur la formation du cœur et des muscles, ainsi que sur les cellules souches. **M. N.**

Quand les lettres se lisent dans le cerveau

NEUROSCIENCES Des personnes qui lisent les lettres B, R, A, I, N et S sur un écran ; des médecins qui voient ces lettres se former dans leur cerveau : l'incroyable exploit a été réalisé par des scientifiques de l'université Radboud (Pays-Bas). Leur secret est un logiciel de reconnaissance de formes qui analyse les images IRM du cerveau pour y décoder ce que l'on observe. « *Notre approche est similaire à la façon dont nous pensons que le cerveau combine lui-même l'information sensorielle,* explique Marcel van Gerven, principal auteur de l'étude. *Par exemple, vous pouvez reconnaître les lignes et les courbes des lettres de cet article seulement après avoir appris à lire. Et c'est exactement ce que nous recherchons : des modèles qui montrent ce qui se passe dans le cerveau d'une manière réaliste.* » **J. I.**

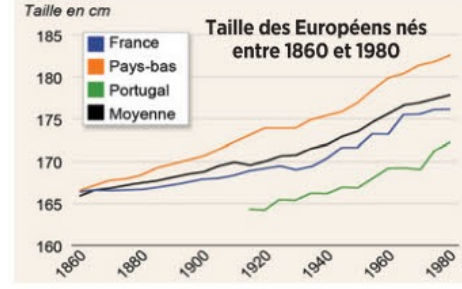

RADBOUD UNIVERSITY NIJMEGEN

Les lettres lues apparaissent sur l'IRM du cerveau du lecteur grâce à un logiciel dédié (ici « cerveaux » en anglais).

11 cm

l'augmentation moyenne de la taille des Européens en 100 ans

Les hommes vivant dans une quinzaine de pays européens ont grandi de 11 centimètres en moyenne entre 1870 et 1980. Soit un centimètre environ par décennie. Les femmes n'ont pas été étudiées faute de données suffisantes. **S. R.-M.**



DAMIEN HYPOLITE

BOUGER PLUS LIBREMENT
Se mettre en mouvement, sentir son corps, être agile jusqu'au bout des doigts, ce sont des envies simples...Pourtant quand on a des douleurs, tout se complique.
C'est pourquoi, MSD s'emploie à découvrir, produire et commercialiser des médicaments innovants. Pour aider les professionnels de santé à soulager les petits et les grands maux et finalement contribuer à vivre mieux.
www.msd-france.com
MSD
Vivre mieux
meanings - Photo : © David Ledoux - 02-15 - CORP-1069529-0000 - FEVRIER 2013

Le smartphone se fait ophtalmo

Ce projet pilote est bien adapté aux pays pauvres où les médecins spécialistes sont rares.

PEEK

Le téléphone mesure l'acuité et le champ visuels, et transmet directement les données recueillies à un médecin pour analyse.

MÉDECINE Un coup d'œil dans l'objectif et le médecin fait son diagnostic : acuité, champ visuel, cataracte... Et inutile d'avoir un appareil spécial : un kit baptisé « Peek » transforme tout smartphone fonctionnant avec le système Android en appareil de mesures ophtalmologiques. Les données peuvent être ensuite directement transmises à distance à des spécialistes pour analyse et avis. Rechargeable par batterie solaire et doté d'une puce GPS permettant la géolocalisation, ce dispositif est particulièrement adapté aux pays en développement où les médecins spécialistes sont rares. Le projet, piloté par une équipe de chercheurs britanniques du Centre for Eye Health (Londres) associée à Golden Gekko, un important développeur européen d'applications mobiles, est actuellement en phase de tests au Kenya. **S. R.-M.**

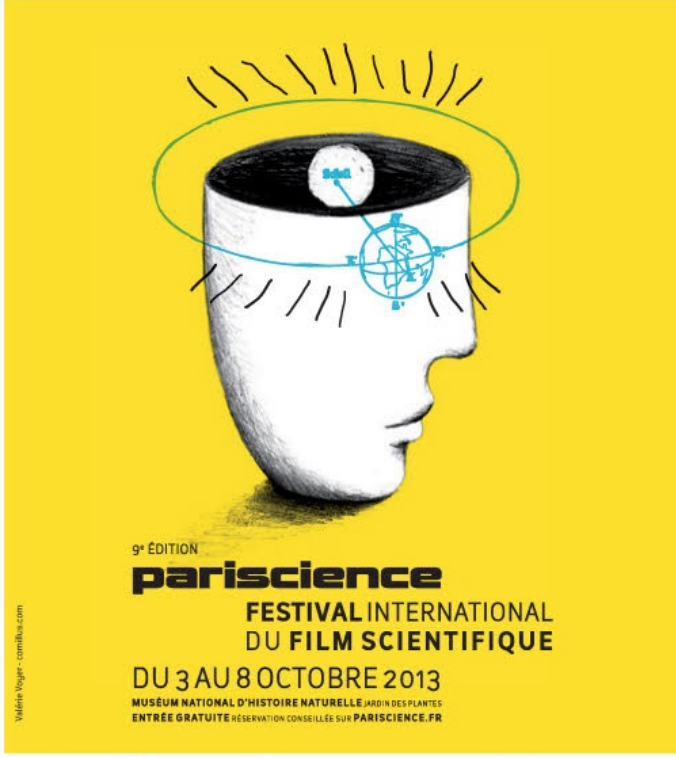
DISPARITION

GUILHOT/DIVERGENCE

« Pour devenir idiot, il suffit d'être passif. Pour peu à peu fabriquer son intelligence, il suffit – c'est toujours vrai – de faire fonctionner son cerveau »

Albert Jacquard, disparu le 11 septembre 2013

Retrouvez notre hommage au scientifique sur notre site : **http://sciav.fr/17YBhyt**



Une possible cause infectieuse dans le cancer du côlon

ONCOLOGIE À l'image du cancer de l'estomac, le cancer colorectal pourrait être dû à une bactérie. Une équipe américaine montre que la bactérie intracellulaire *Fusobacterium nucleatum* joue un rôle actif en induisant la prolifération des cellules cancéreuses et une réaction inflammatoire dans l'intestin comparable à celle retrouvée dans les tumeurs. **P. K.**

SOURCE : MARA ROXANA RUBINSTEIN, CASE RESERVE UNIVERSITY, CLEVELAND (ÉTATS-UNIS).

PHANIE

Bactéries « Fusobacterium nucleatum ».

Arrêt du tabac : la flore intestinale responsable de la prise de poids

GASTRO-ENTÉROLOGIE Sept kilos en plus en moyenne quand on arrête de fumer : la faute à la flore bactérienne qui peuple nos intestins. Bien sûr, le grignotage ou la perte de l'effet « coupe-faim » de la nicotine jouent un rôle dans la prise de poids. Mais, pour des chercheurs de la Fondation scientifique suisse, l'arrêt du tabac provoque aussi une modification de la flore intestinale responsable, au moins en partie, de l'embonpoint du nouveau « sevré ». Ils ont en effet étudié pendant neuf semaines le génome des bactéries intestinales de non-fumeurs, de fumeurs et de personnes en sevrage. Ils ont constaté que l'arrêt du tabac induisait une modification importante de la composition microbienne de la flore intestinale, cette dernière ressemblant alors étrangement à celle des obèses, à savoir riche en protéobactéries et *Bacteroidetes,* et pauvre en *Firmicutes* et actinobactéries. **S. D.**

(Publi-reportage)

Fondation ARTHRITIS
Recherche & Rhumatismes

La Recherche en mouvement

Nom : FONDATION ARTHRITIS

Qualité : Reconnue d'utilité publique

Activité : Seul organisme privé de récolte de fonds pour la recherche contre les rhumatismes.

Mot d'ordre : « Restons en mouvement pour continuer à avancer ! »

Don Annuel : 800 000 €

NOS MISSIONS :

- Promouvoir et soutenir la recherche.
- Favoriser la découverte de thérapeutiques innovantes.
- Encourager une meilleure coordination de la recherche pour mettre au point de nouveaux traitements.
- Développer l'information sur ces maladies.

Nombre de malades atteints de rhumatismes en France :	Nombre d'enfants atteints de rhumatisme en France :	Nombre de personnes atteintes de rhumatismes en France :
800 000	4 000	12 millions

© communication & multimédia : 04 75 01 46 42

Vous pourrez découvrir la Fondation ARTHRITIS et notre recherche dans le cahier Expert « Spécial Rhumatisme » Sciences & Avenir daté de Décembre 2013.

Nous contacter ou faire un don : www.fondation-arthritis.org - N° gratuit : 0800 333 555 (Depuis un poste fixe)

EN BREF

PIRATAGE. Plus de 100 sites de ventes en ligne de médicaments ont été piratés ces derniers mois. **JEU VIDÉO.** 300 employés, cinq années de développement, 200 millions d'euros de budget, GTA 5 (Grand Theft Auto) est le jeu vidéo le plus cher de l'histoire. **HADOPI.** Le seul internaute condamné en France au titre de cette loi ne verra pas sa peine appliquée.

2020

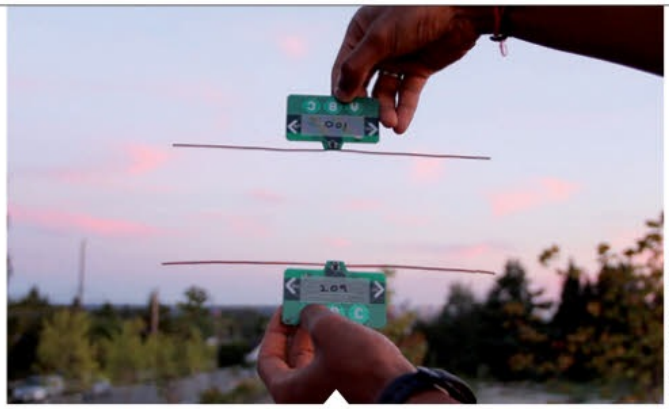
L'année des voitures sans pilote

Le constructeur japonais Nissan est persuadé de cette évolution et a même indiqué qu'il édifiait actuellement une ville factice pour tester la sécurité de ses prototypes en condition réelle. L'américain GM a lui aussi annoncé être sur la voie du véhicule autonome. Et il faudra également compter sur Google, qui a déjà démontré l'impressionnante efficacité de ses voitures sans pilote. **O. H.**

Des scientifiques piratent un yacht

NAVIGATION Détourner un yacht de 65 mètres ? Facile. En piratant le GPS du bateau, des chercheurs américains y sont parvenus, cet été, pour la première fois au monde. La technique employée consiste à envoyer un faux signal GPS afin de tromper le pilote automatique. Cette expérience démontre qu'une nouvelle piraterie mieux organisée pourrait sérieusement compromettre la circulation maritime. **O. H.**

SOURCE : TODD HUMPHREYS, UNIVERSITÉ DU TEXAS (AUSTIN, ÉTATS-UNIS).



UNIVERSITY OF WASHINGTON

Ces cartes de paiement puisent l'énergie environnante pour communiquer.

Les ondes radio, une source d'énergie

Des objets peuvent fonctionner sans batteries grâce à l'énergie provenant des ondes qui les entourent.

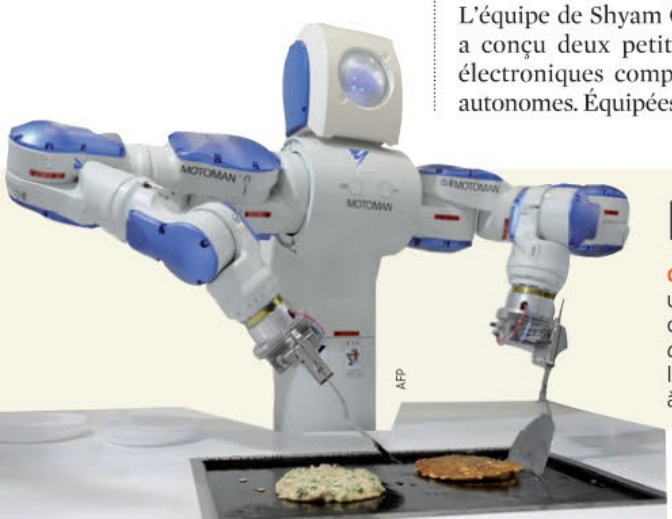
COMMUNICATION Un canapé qui vous envoie un SMS pour vous dire que vous avez laissé tomber les clés entre les coussins ! Ce sera aussi ça le futur « Internet des objets », un monde dans lequel tous les objets pourront communiquer entre eux… à condition de disposer d'une source d'énergie. Or, justement, une technologie développée à l'université de Washington (Seattle, États-Unis) pourrait permettre de se passer de prises ou batteries. L'équipe de Shyam Gollakota a conçu deux petites cartes électroniques complètement autonomes. Équipées chacune d'une antenne qui collecte l'énergie provenant des ondes qui nous entourent, elles peuvent ainsi échanger des informations. Outre le canapé, les chaises et les pots de fleurs, l'étendue des applications est considérable. Des capteurs intelligents pourraient être intégrés à n'importe quel matériau et programmés pour communiquer entre eux. Idéal pour surveiller l'état du béton d'un pont et émettre une alerte à la moindre fissure. La seule contrainte : il faut des ondes dans les parages et elles doivent pénètrer suffisamment dans les matériaux. **O. H.**

Un regard bien droit sur Skype

INFORMATIQUE Des étudiants suisses ont développé un logiciel qui redresse le regard… sur Skype. Les utilisateurs de l'application de conversation vidéo par Internet ont remarqué qu'ils ne pouvaient pas regarder leur interlocuteur droit dans les yeux *(photo du haut)*. La raison : les gens se regardent sur l'écran, alors que la Webcam de leur ordinateur ou la caméra de leur smartphone peut se trouver en haut, en bas ou sur les côtés. D'où un décalage du regard. Le logiciel corrige ce décalage par une retouche d'image en temps réel *(en bas)*. **O. H.**

SOURCE : CLAUDIA KUSTER, INSTITUT FÉDÉRAL DE TECHNOLOGIE DE ZURICH (SUISSE).

COMPUTER GRAPHICS LABORATORY ETH ZURICH



AFP

Des androïdes bientôt employés au McDo ?

CYBERNÉTIQUE Pour répondre aux grévistes des McDonald's américains qui réclament un salaire minimum, un lobby ultralibéral a acheté une pleine page de publicité choc dans le *Wall Street Journal* : *« Les robots pourront bientôt remplacer les travailleurs des fast-foods qui demandent un salaire minimum. »* Photo à l'appui. De fait, l'entreprise Momentum Machines, basée à San Francisco, commence effectivement à commercialiser des robots pour les cuisines de fast-foods ! **O. H.**

La vie d'Antoine-Augustin Parmentier : un exemple à méditer

© Alain Marouani

Martine Aiach, *Présidente du comité national de la célébration du bicentenaire de la mort d'Antoine-Augustin Parmentier. Présidente de la Fondation Paris Descartes.*

Un savant qui répond aux préoccupations de son temps, un expert très écouté

La commémoration du bicentenaire de la mort d'Antoine-Augustin Parmentier, organisée par la Fondation Paris Descartes, est l'occasion de revenir sur l'œuvre de ce pharmacien humaniste méconnu dans sa dimension de grand savant de la fin du siècle des Lumières. Son action va bien au-delà de l'introduction de la pomme de terre dans l'alimentation, elle concerne tout ce qui est de nature à améliorer le bien-être et la santé de ses contemporains. Les ouvrages d'Anne Muratori-Philip nous en ont fait découvrir les multiples facettes de son œuvre dont deux aspects concernent particulièrement le domaine de la santé.

Un chercheur puisant son inspiration dans les premières expériences de sa vie d'apothicaire

Antoine-Augustin Parmentier, mis en apprentissage dans une pharmacie à 13 ans, y montre des qualités d'observation et une vive intelligence qui vont convaincre son maître apothicaire de l'envoyer à Paris chez son confrère Simonet. Lui aussi reconnaît rapidement son talent, pressent l'homme de science qu'il va devenir et le pousse à se présenter au recrutement de garçon apothicaire dont l'armée avait grand besoin pour organiser son service de santé. C'est là qu'il côtoie la souffrance et la misère des soldats, mal nourris et soignés dans des conditions très précaires, expérience qui va nourrir les questionnements du futur chercheur. Son intégration en 1763 à l'équipe de santé de l'Hôtel des Invalides lui permet de poursuivre ses observations et renforce sa détermination à s'attaquer aux grands fléaux de son époque : la malnutrition et le manque d'hygiène. Il suit les visites des médecins, s'intéresse de très près à l'état des pensionnaires, et commence ses recherches dans un petit laboratoire mis à sa disposition. Il dira plus tard *«mes recherches n'ont d'autre but que le progrès de l'art et le bien général (...)»*. Le mémoire qu'il présente à l'académie de Besançon en 1772 révèle l'étendue de ses travaux et la pertinence de ses observations. Y sont décrites ses expériences de chimie alimentaire sur la composition des farines de céréales, de pomme de terre, de châtaigne, sur celle des autres légumineuses et des fruits et présentées ses hypothèses sur la valeur nutritive des différents composants, en particulier l'amidon. Beaucoup d'autres publications et mémoires vont par la suite étayer ces données fondatrices et aborder des sujets variés comme la qualité du lait ou l'insalubrité de l'eau, toujours dans l'espoir d'améliorer la nutrition ou de diminuer les maladies des enfants et des adultes.

Un expert respecté et écouté, un promoteur d'actions humanitaires

Si, de la Monarchie à l'Empire, ce savant a pesé sur nombre de décisions, il n'a pas recherché le pouvoir et les honneurs que peut apporter la notoriété scientifique. Et pourtant, cet homme intègre, désintéressé et dénué de toute préoccupation courtisane, a su convaincre les hommes politiques de son temps du bien-fondé de ses propositions pour lutter contre la famine, contrôler la dissémination des maladies par des mesures d'hygiène, équiper les hôpitaux de matériel et de médicaments, secourir les plus démunis. Il n'a pas hésité à multiplier les actions de communication pour informer les décideurs et éduquer ses concitoyens. Un de ses derniers combats a permis de mettre en place des centres d'inoculation de la vaccine pour faire bénéficier les Français de la découverte de Jenner du pouvoir immunogène de cette forme bovine de la variole. Au cours des deux siècles écoulés depuis sa mort, des découvertes majeures ont permis des progrès très significatifs dans le domaine de la médecine et de la pharmacie qui, dans l'ensemble, ont tellement amélioré la santé publique que l'espérance de vie a considérablement augmenté. Cependant, ces nouveaux savoirs ne répondent pas toujours aux attentes d'une société qui reste perplexe devant la complexité des débats scientifiques et doute parfois de la crédibilité de ses experts. Parmentier a su mettre au service du bien public les connaissances générées par une vie de travail passionnée et il s'est imposé comme un expert incontestable dans le domaine de la santé. Son honnêteté, sa probité et sa clairvoyance lui ont valu sa réputation de «bourru bienfaisant». C'est un exemple à méditer.

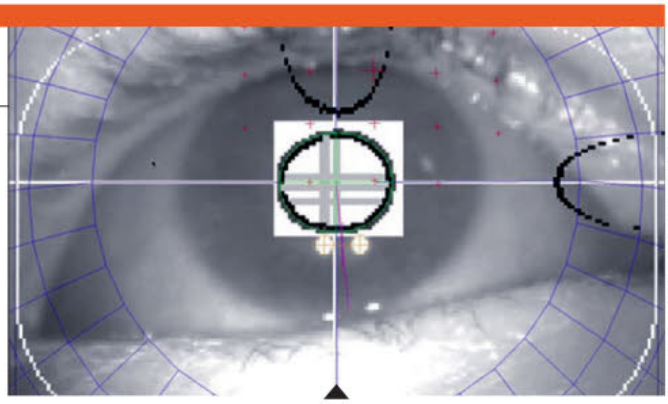
■ **Martine Aiach**

FONDATION UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

bicentenaire-parmentier.fr
fondation.parisdescartes.fr

Communiquer par la pupille

Un algorithme décrypte la contraction de la pupille et permet à des paralysés de se faire comprendre.



JOSEF STOLL / PHILIPPS UNIVERSITÄT, MARBURG

Une caméra capte les mouvements de la pupille du patient.

BIONIQUE Communiquer uniquement grâce aux mouvements de sa pupille ? C'est l'exploit technique réalisé par une équipe de chercheurs de l'université de Marbourg, en Allemagne, et relaté dans le dernier numéro de *Current Biology*. Le dispositif ne nécessite qu'un ordinateur et une caméra. Il permettrait à des personnes atteintes d'un syndrome d'enfermement extrême de pouvoir répondre à des questions simples. En effet, certains cas sont plus dramatiques encore que ce que raconte Jean-Dominique Bauby dans *Le Scaphandre et le papillon*, un récit dicté uniquement grâce au clignement de sa paupière gauche. Pour certaines personnes, l'intégralité du corps est paralysée et ne répond plus à l'esprit. Subsistent néanmoins des réflexes involontaires et naturels comme celui de la contraction de la pupille dès qu'on est soumis à un calcul mental. D'où l'idée ingénieuse des chercheurs allemands : ils ont demandé à des volontaires valides de résoudre un problème de mathématiques uniquement s'il était associé à la réponse correcte à une question générale par oui ou par non et en ont tiré un algorithme. Testé sur sept personnes atteintes d'un syndrome d'enfermement, celui-ci a été capable d'interpréter correctement la pupille des malades pour décoder leurs réponses. **H. R.**

S. BINOUX / ESASDE

L'Open Reflex est compatible avec toutes les optiques.

Imprimer son appareil photo en 3D

PRODUCTION Pendant que des étudiants américains s'acharnent à fabriquer des armes avec une imprimante 3D *(lire* S. et A. *n° 796, juin 2013)*, Léo Marius, jeune diplômé français d'une école de design, a imprimé le premier boîtier d'appareil photo argentique. Baptisé Open Reflex, ses plans et astuces d'assemblage sont en accès libre et gratuits sur le site de ce créateur. Pour le faire fonctionner, il faudra cependant lui adjoindre un objectif. **O. H.**

SOURCE : WWW.LEOMARIUS.COM/INDEX.PHP?/ALBUMS/OPENREFLEX/

La cuillère anti-tremblements

MÉDECINE Des ingénieurs américains ont créé une cuillère stabilisée destinée aux patients parkinsoniens. Grâce à un système actif de compensation embarqué dans le manche, cette cuillère réduit les tremblements de 75 %. Baptisée Liftware, elle devrait être commercialisée avant la fin de l'année au prix de 295 dollars (220 €). **O. H.**

SOURCE : LIFT LABS, SAN FRANCISCO (ETATS-UNIS).

LIFT LABS

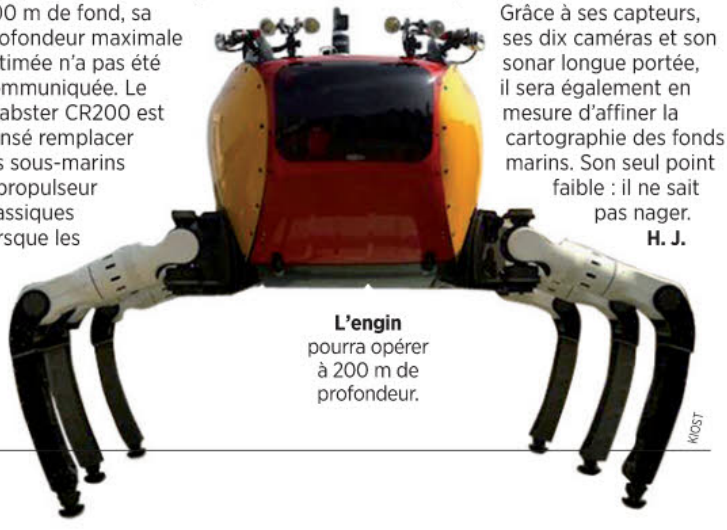
Des capteurs dans la poignée détectent les petits mouvements involontaires.

Sa vie déroulée en photos

PHOTOGRAPHIE Memoto, une start-up suédoise, commercialise un capteur gros comme une boîte d'allumettes, dépourvu de bouton off et qui prend une photo toutes les 30 secondes. Il s'accroche sur une chemise ou une chaîne autour du cou. Chaque image est datée et localisée par ses coordonnées GPS puis stockée en ligne. Pour son concepteur, Memoto est une véritable mémoire qui permettra de revivre les meilleurs moments de sa vie. **O. H.**

Un robot-crabe joue les sous-marins

OCÉANOLOGIE Inspiré du crabe, ce robot a été testé cet été en Corée du Sud par le KIOST (Institut coréen des sciences et technologies océaniques) pour explorer le fond des océans. Conçu pour travailler à partir de 200 m de fond, sa profondeur maximale estimée n'a pas été communiquée. Le Crabster CR200 est censé remplacer les sous-marins à propulseur classiques lorsque les courants sont trop forts. Piloté depuis la surface, l'hexapode, grand comme une Smart, est doté de deux pinces lui permettant d'attraper et de ranger des objets dans un compartiment prévu à cet effet. Grâce à ses capteurs, ses dix caméras et son sonar longue portée, il sera également en mesure d'affiner la cartographie des fonds marins. Son seul point faible : il ne sait pas nager. **H. J.**



KIOST

L'engin pourra opérer à 200 m de profondeur.

FONDATION ÉCOLOGIE D'AVENIR

INSTITUT DE FRANCE

COLLOQUE

LES COMBUSTIBLES DU FUTUR: LE RENOUVEAU DES GAZ

SOUS LA DIRECTION DE PASCAL COLOMBANI ET CHRISTIAN AMATORE

Avec la participation de:

Festa Capella (AIE), Marc Fontecave (Collège de France), Alain Prinzhofer (HRT), Satish Singh (IPGP), Mark Zoback (Stanford university)...

Jeudi 7 novembre 2013

15H-19H

LA MAISON DU BARREAU

2 RUE DE HARLEY - 75001 PARIS

WWW.FONDATIONECOLOGIEDAVENIR.ORG

Entrée gratuite - réservation obligatoire

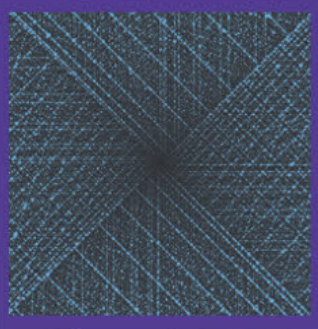
L'énigme des nombres premiers

Uniquement divisibles par un et par eux-mêmes, ils suscitent l'engouement des mathématiciens depuis l'Antiquité. Car un mystère demeure : il est impossible de prédire quel nombre sera premier. Plongée au cœur des plus fascinantes mathématiques.

Dossier réalisé par
Azar Khalatbari

Quatre mille pages ! C'est un magazine de cette épaisseur que nous vous livrerions ici si nous voulions traduire dans son intégralité le résultat iconoclaste battu début janvier : il nous faudrait en effet aligner plus de 17 millions de chiffres, très exactement 17 425 170. En l'occurrence le plus grand nombre premier jamais découvert, exploit réalisé par Curtis Cooper et son équipe du département de mathématiques et d'informatique de l'université du Missouri central, aux États-Unis. L'annonce a forcé l'admiration des mathématiciens (professionnels et amateurs) et a royalement valu à ses auteurs une récompense de... 3000 dollars seulement ! Quelle est donc exactement cette merveille dénichée par Curtis Cooper ? Un de ces nombres uniquement divisibles par 1 et par lui-même. Le grand frère mathématique de 2, 3, 5, 7, 11, 13... mais pas de 8, 9, etc. — qui sont divisibles, outre par 1 et par eux-mêmes, par 2 et 4 pour l'un, par 3 pour l'autre. Impossible d'écrire le géant dans nos pages, mais en voici tout de même la recette : multiplier 57 885 160 fois le chiffre 2 par lui-même, puis retirer 1. C'est tout.

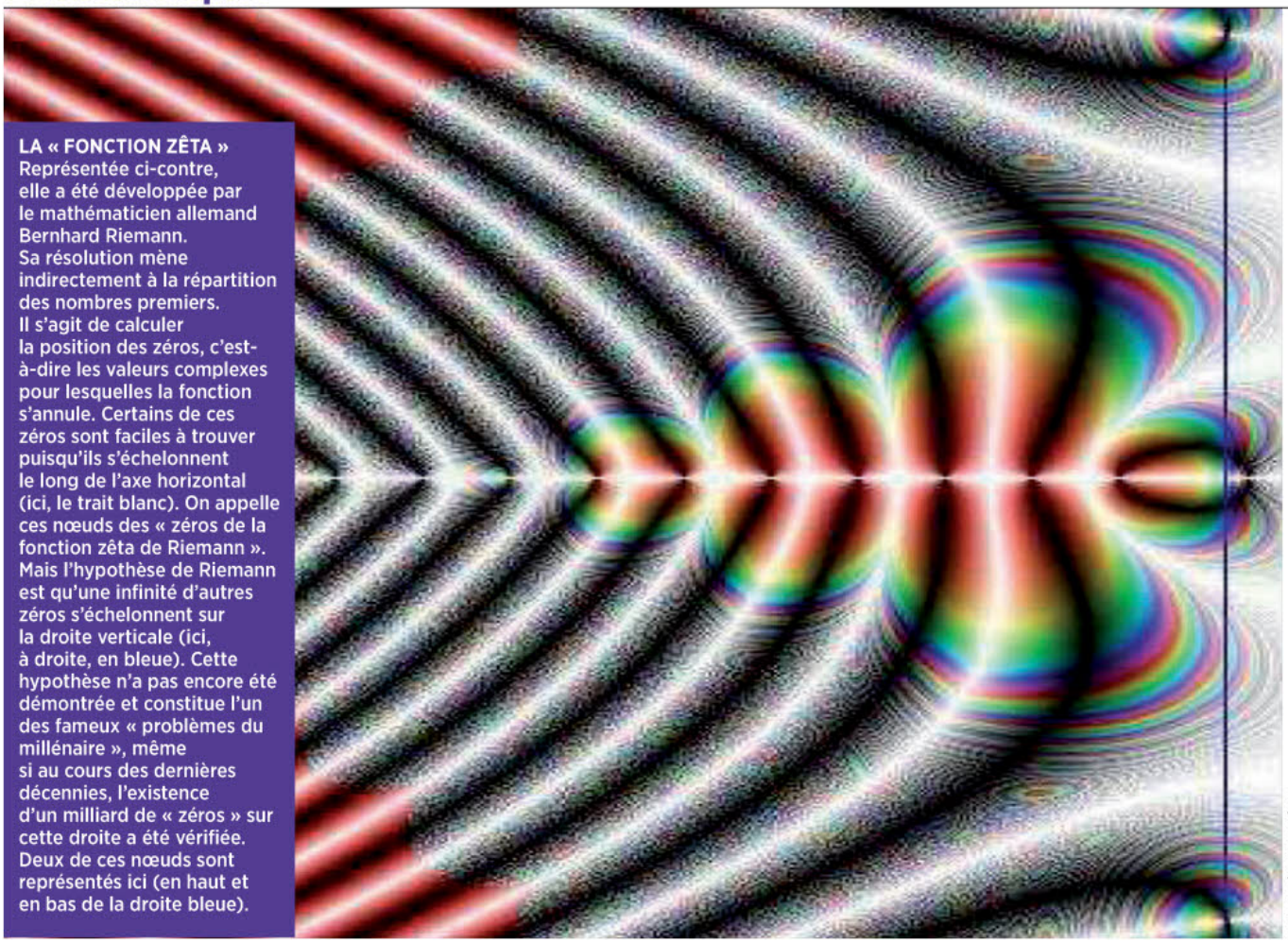
Maintenant, c'est un nombre premier à 100 millions de chiffres qui est visé ! Avec la coquette somme de 250 000 dollars à la ▸



LA SPIRALE D'ULAM
En reportant les nombres entiers selon une spirale, le mathématicien Stanislaw Ulam a découvert que, parmi eux, les nombres premiers s'alignaient le long des diagonales. Ils correspondent aux carrés blancs sur l'image de fond. Le 1 est en rose, le 2 en vert, le 3 en violet, le 4 à côté n'est pas premier (donc il manque), puis le 5 et le 7... Cette même spirale est représentée pour les nombres jusqu'à 100 000 pour lesquels les structures en diagonale ressortent.

GRAIG S. KAPLAN / UNIVERSITY OF WATERLOO

D. R.



LA « FONCTION ZÊTA » Représentée ci-contre, elle a été développée par le mathématicien allemand Bernhard Riemann. Sa résolution mène indirectement à la répartition des nombres premiers. Il s'agit de calculer la position des zéros, c'est-à-dire les valeurs complexes pour lesquelles la fonction s'annule. Certains de ces zéros sont faciles à trouver puisqu'ils s'échelonnent le long de l'axe horizontal (ici, le trait blanc). On appelle ces nœuds des « zéros de la fonction zêta de Riemann ». Mais l'hypothèse de Riemann est qu'une infinité d'autres zéros s'échelonnent sur la droite verticale (ici, à droite, en bleue). Cette hypothèse n'a pas encore été démontrée et constitue l'un des fameux « problèmes du millénaire », même si au cours des dernières décennies, l'existence d'un milliard de « zéros » sur cette droite a été vérifiée. Deux de ces nœuds sont représentés ici (en haut et en bas de la droite bleue).

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL

THÉORIE DES JEUX

Nobel et schizophrène

Le mathématicien John Forbes Nash, prix Nobel d'économie, voue une folle passion aux nombres premiers.

Au milieu des années 1960, les étudiants de l'université Brandeis (Massachusetts, États-Unis) découvraient chaque matin des inscriptions curieuses sur les tableaux noirs des amphis : *« la bar mitzvah de Mao Zedong a eu lieu 13 ans, 13 mois et 13 jours après la circoncision de Brejnev »* ou encore *« N5 + I5 + X5 + O5 + N5 = 0 »*. Ils savaient alors que le « fou de la bibliothèque » avait encore frappé. L'auteur de ces bizarreries, le mathématicien John Forbes Nash, né en 1928,

GETTY IMAGES

était bien connu pour être schizophrène. Ce qui ne l'empêcha pas d'être colauréat du prix Nobel d'économie en 1994 pour la théorie des jeux ! Pris d'une passion maladive pour les nombres premiers, il était en effet persuadé qu'une mission extraterrestre lui avait été confiée par leur intermédiaire.

À la question de savoir comment son esprit brillant pouvait adhérer à de telles affirmations farfelues, Nash répondait invariablement que ces idées lui étaient venues de la même manière que les idées mathématiques. Le film *Un homme d'exception*, réalisé en 2001 par Ron Howard, raconte la vie de ce savant hors normes.

clé. À l'origine de ces prix, une société savante à but non lucratif, l'Electronic Frontier Foundation, fondée en 1990 pour la défense de la liberté d'expression sur le Web. En le décrochant cette année, Curtis Cooper, féru de jeux — il propose sur son site une foule de casse-tête — n'en est pas à son premier succès. C'est la troisième fois, après 2005 et 2006, qu'il bat le record du plus grand nombre premier. Une « bataille » dans laquelle il avait été supplanté en 2008 par l'équipe d'Edson Smith de l'université de Californie à Los Angeles.

Mais pourquoi un tel engouement (hors chasse à la prime !) pour les nombres premiers ? Curtis Cooper affirme qu'il est question ici de la promotion du calcul distribué, auquel quiconque équipé d'un ordinateur individuel peut participer. Car cette recherche

RECORDS

ÉTONNANTS NOMBRES DE MERSENNE

L'érudit et ami de Descartes Marin Mersenne, ecclésiastique mort en 1648, a trouvé, en son temps, les plus grands nombres premiers de l'époque. Aujourd'hui, Paul Zimmermann suit le programme GIMPS (Great Internet Mersenne Prime Search) relatif à la recherche sur Internet des nombres dits de Mersenne, qui ont la propriété suivante : *« Ils s'inscrivent sous la forme de $(2^p - 1)$, p étant lui-même un nombre premier, comme celui découvert par Curtis Cooper*, explique Paul Zimmermann. *Ce n'est pas le cas de tous les nombres premiers. Mais l'intérêt des nombres premiers de Mersenne est que leur primalité est très facilement vérifiable grâce à un procédé très simple ! »* De ce fait, à ce jour le plus grand nombre premier qui ne soit pas un nombre de Mersenne ne comporte « que » 3 918 990 chiffres, contre 17 425 170 dans la trouvaille de Curtis Cooper.

est vorace en temps de calcul : quatre ans pour aboutir au dernier record. Répartir le temps de travail sur des milliers d'ordinateurs permet de compresser cette durée. *« Il suffit de s'inscrire à ce programme et de laisser son ordinateur branché lorsqu'on ne l'utilise pas »*, explique Paul Zimmermann, de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria, Nancy), en quête d'autres pépites liées aux nombres premiers, les nombres de Mersenne *(lire l'encadré ci-dessus)* dont fait partie le nombre record cité en début d'article.

Ils ont permis de sécuriser des transactions

Il y a plusieurs décennies, c'est l'art du codage que les chercheurs mettaient en avant pour justifier leurs travaux. En 1977, avait ainsi été annoncée la mise au point d'un algorithme, le système RSA (initiales des noms de ses inventeurs Rivest, Shamir et Adleman), permettant de sécuriser les transactions par Internet et les paiements à distance. Un système fondé sur les propriétés des nombres premiers : tout nombre est une composition unique de nombres premiers. Mais *« actuellement, la cryptographie ne nécessite que des nombres à moins de mille chiffres »*, précise Paul Zimmermann. Une paille à côté des dizaines de millions de chiffres alignés par les détenteurs de record. La vraie raison de l'engouement est à chercher ailleurs. Dans une passion qui remonte à l'Antiquité, une curiosité intellectuelle inextinguible pour un mystère toujours entier : il est impossible de prédire quel nombre sera premier !

C'est au IIIe siècle avant notre ère que démarre ce défi à l'esprit humain. *« La première définition rigoureuse des nombres premiers remonte à Euclide »*, rappelle Jean-Paul Delahaye, du laboratoire d'informatique fondamentale de l'université Lille-I, auteur de *Merveilleux nombres premiers* (Belin). Très vite, les mathématiciens se rendent compte de leur caractère imprévisible : on a beau en connaître cent, mille, dix mille, cent mille... on ne sait pas déterminer quel sera le prochain ! De cette « imprédictibilité » jaillit une floraison de questions à leur propos : en existe-t-il une infinité ? Sont-ils aussi nombreux au fur et à mesure que l'on atteint les très grands nombres ? On joue avec eux comme avec des amis : on remarque que certains — surnommés « jumeaux » —, ne sont séparés que de deux, tels 11 et 13. D'autres, les « cousins », de quatre, tels 7 et 11. D'autres encore, de six, tels 5 et 11, baptisés « sexy » ! En filigrane, s'inscrit cette question ▶

HISTOIRE DES SCIENCES

Cinq éclaireurs de génie

Depuis des siècles, ces savants ont contribué à la compréhension des nombres premiers.

EUCLIDE (IIIe SIÈCLE AVANT J.-C.) L'ouvrage phare du père de la géométrie, *Les Éléments*, un traité en 13 chapitres, qui constitue une référence en mathématiques, est le premier à définir les nombres premiers.

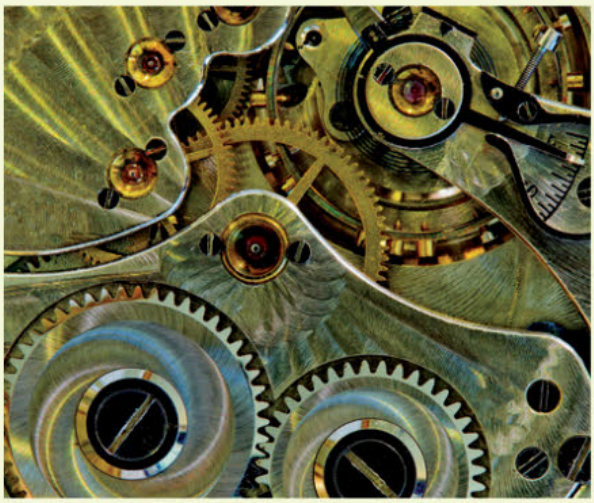
ÉRATOSTHÈNE (IIIe SIÈCLE AVANT J.-C.) Cet astronome philosophe et mathématicien fut avant tout celui qui a déterminé la circonférence de la Terre à quelques centaines de kilomètres près. Il fut aussi l'inventeur de la méthode dite du crible d'Ératosthène pour isoler les nombres premiers. Selon la *Souda*, une encyclopédie grecque de la fin du IXe siècle, devenu aveugle à la fin de sa vie, il se serait laissé mourir de faim.

LEONHARD EULER (1707-1783) Ce mathématicien et physicien suisse est spécialiste du calcul infinitésimal et de la théorie des graphes. Il est connu pour avoir résolu le problème des ponts de Königsberg ou comment faire le tour de la ville prussienne en traversant chaque pont une seule fois et revenir au point de départ. Il a aussi été le premier à travailler sur l'abondance des nombres premiers.

BERNHARD RIEMANN (1826-1866) Le savant allemand a donné son nom à de très nombreux résultats mathématiques, en analyse et en géométrie différentielle. En 1859, dans un article intitulé « Sur le nombre de nombres premiers inférieurs à une taille donnée », il définit la fonction zêta *(lire p. 34)*, en généralisant les travaux d'Euler. Son hypothèse n'a toujours pas été démontrée et fait partie des 7 problèmes du millénaire en mathématiques.

TERENCE TAO (né en 1975) Ce mathématicien australien de 38 ans, médaille Fields 2006, est un des plus récents contributeurs au domaine des nombres premiers. En 2012, il a démontré que tout entier impair supérieur à 1 est la somme de cinq nombres premiers au plus. Ces travaux ont été couronnés par le prix Crawford en 2012.

LEEMAGE - LA COLLECTION - LEEMAGE - LEEMAGE - DR


GETTY IMAGES

ENGRENAGES

Coordonner les mécanismes d'horlogerie

L'arithmétique est nécessaire à la construction des engrenages.

Les mécanismes d'horlogerie sont formés de roues dentées qui doivent faire un nombre entier de tours : l'aiguille des minutes devant parcourir la totalité du cadran pendant que celle des heures n'effectue qu'un douzième de cadran. Seuls les nombres premiers permettent de coordonner les deux mouvements. *« Si une roue à n dents tourne contre une roue à* m *dents, et si* m *et* n *sont premiers entre eux, alors les deux roues reviendront dans la même position respective au bout de m tours pour la première, et de* n *tours pour la seconde »*, explique Jean-Paul Delahaye. Ainsi les engrenages des mécanismes d'horlogerie sont le fruit d'une science arithmétique.

qui taraude l'imagination : cette suite de nombres qui n'obéit à aucune loi a-t-elle une signification ? Car, si *« le monde s'écrit en langage des nombres »*, comme l'avait imaginé Pythagore, et si la nature est mathématique, comme le suggérait Galilée, quel rôle peut bien y jouer la suite de nombres premiers ? Reflète-t-elle une structure de l'espace ou du temps ? Ou bien celle du cerveau humain ?

« Après vingt-trois siècles de réflexion, nous n'avons toujours pas percé le mystère des nombres premiers, reconnaît Jean-Paul Delahaye. *Pire même, un des plus grands chantiers des mathématiques — la démonstration de l'hypothèse de Riemann — est en lien direct avec eux. »*

Et de constater que *« l'intrigue draine dans son sillage une foule d'amateurs et de professionnels, certains frôlant l'obsession, la folie ou la mystification »*. Sans doute parce qu'au royaume infini des nombres, les « premiers » forment un jeu de briques essentielles, un peu à la manière des particules élémentaires de matière pour le monde physique : tout ce qui compose le monde depuis les êtres vivants jusqu'aux étoiles et aux planètes, est formé d'une association de 12 particules élémentaires. Chaque élément chimique est une combinaison unique de quelques-unes de ces particules : ainsi l'atome d'hydrogène ne peut exister que grâce à la combinaison d'un proton et d'un électron. De la même manière, tous les nombres peuvent se décomposer de manière unique en nombres premiers.

La recherche a pris l'allure d'une croisade pour la vérité

Autrement dit, ce qui différencie un 5 d'un 55 555 ou d'un 67 456 est la suite de nombres premiers qui les composent, tout comme des associations précises de particules élémentaires donneraient au bout du compte deux individus différents. Cette manière unique d'écrire chaque nombre à partir d'ingrédients essentiels est le théorème fondamental de l'arithmétique. C'est sur le socle solide et inébranlable de cette unicité qu'est fondée toute la cryptographie, comme mentionné plus haut. Sans ce théorème, deux codages différents pourraient, renvoyer à la même carte de crédit.

À mille lieues des paiements électroniques, ce statut parti-

NUMÉROLOGIE

666, la marque du diable

Cité dans la Bible, cette somme des sept premiers nombres premiers alimente toutes sortes d'élucubrations ésotériques.

Certes, 666 n'est pas un nombre premier, car il est au moins divisible par 6... Mais 666 est la somme des carrés des sept plus petits nombres premiers (7 qui peut par ailleurs s'écrire 6 + 6/6, soit 6 + 1). Pour les superstitieux amoureux des nombres, et à en croire la Bible, c'est bien le nombre du diable. Plus précisément selon *l'Apocalypse* de saint Jean, chapitre 13, verset 18 : *« Que celui qui a de l'intelligence calcule le nombre de la bête. Car c'est un nombre d'homme, et son nombre est six cent soixante-six. »*

D'autres ont remarqué que si l'on codait les lettres entre 100 et 125 (a = 100 et z = 125) alors le nom de Hitler serait équivalent à 666. *« Les multitudes combinaisons de chiffres explorées et parfois leur coïncidence avec des événements historiques alimentent une numérologie qui peut fasciner mais aussi servir d'instrument de peur et de sectarisme »*, écrit Jean-Paul Delahaye, du Laboratoire d'informatique fondamental de Lille.

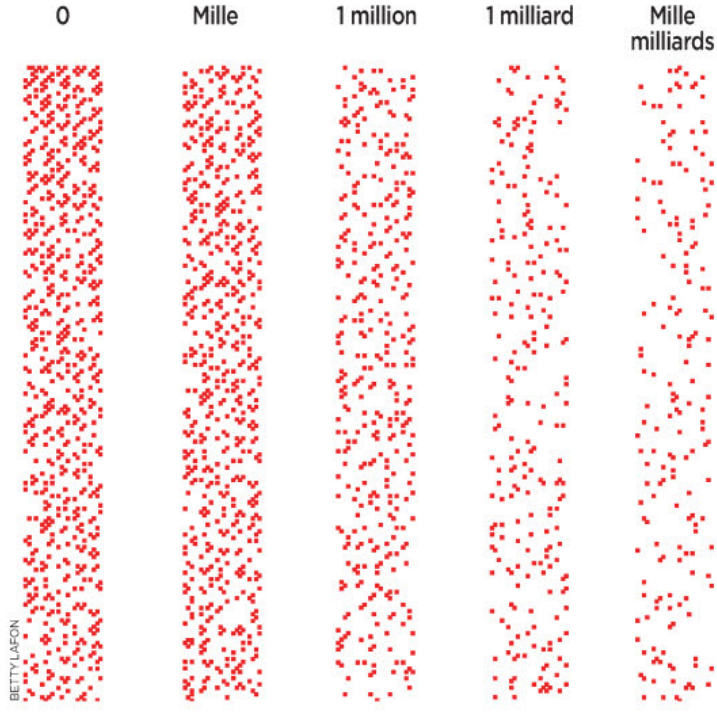
culier n'avait pas échappé aux Anciens. Ils y voyaient, eux, une quête de la « vérité ». L'arithmétique leur semblait d'ailleurs l'expression de cette vertu première : les sens peuvent fausser la description de la nature, l'œil observant une figure géométrique peut tromper l'esprit, mais 2 × 2 feront toujours 4, indépendamment de toute perception humaine. Dès lors, la recherche sur les nombres premiers a pris des allures de croisade pour la vérité. Euclide, outre leur définition, fournit aussi la preuve de l'infinité des nombres premiers. Dans *Les Éléments*, monument des mathématiques et ouvrage le plus diffusé après la Bible jusqu'au début du XX[e] siècle, *« il utilise une démonstration par l'absurde*, explique Jean-Paul Delahaye, *en prouvant que le contraire d'une proposition aboutit à une incohérence, il réhabilite donc la proposition »*.

Le crible d'Ératosthène reste une méthode géniale

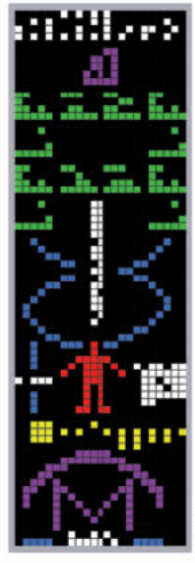
Depuis, d'autres démonstrations — pour le plaisir de varier les démarches mathématiques — se sont enchaînées. Face à cette infinité imprévisible, les mathématiciens ont procédé avec méthode : combien y a-t-il de nombres premiers inférieurs à 100, ou 1000, ou *n* ? Toujours au III[e] siècle avant notre ère, ce fut Ératosthène, astronome, géographe et mathématicien grec, qui inventa une méthode géniale, son fameux crible : dans une grille contenant les nombres entiers, chaque nombre plus grand que 2 est examiné, et tous ses multiples inférieurs à *n* rayés de la grille. Par exemple, si *n* = 11, en prenant le 2 en considération, on en vient à éliminer 4, 6, 8, qui sont ses multiples ; puis vient le 3, on biffe alors le 9, le nombre suivant, le 4, étant déjà éliminé. Reste le 5, qui fait écarter le 10... Au final, demeurent 2, 3, 5 et 7, qui constituent les nombres premiers inférieurs à 11.

Aujourd'hui, vingt-trois siècles plus tard, on n'a pas trouvé mieux que le crible d'Ératosthène. Certes, l'ordinateur remplace maintenant l'armée de petites mains qui planchaient pour effectuer les calculs, mais le principe reste le même. Ces heures de travail ingrat qui ont occupé des générations de mathématiciens pendant des siècles n'ont pas été inutiles. Elles ont mis en lumière un fait étrange : plus les nombres grandissent, moins on trouve de nombres premiers *(voir ci-dessus)*. D'où une nouvelle interrogation : à quelle loi peut bien obéir cette décroissance ? Est-ce une diminution lente en pente douce ou brutale, linéaire ou logarithmique ?

La question turlupine toujours les mathématiciens après avoir été étudiée depuis le XVIII[e] siècle par les savants les plus célèbres, Leonhard Euler, Adrien-Marie Legendre, Carl Gauss... Le constat peut être ainsi énoncé : au fur et à mesure que l'on avance vers les grands nombres, par exemple n, la proportion de nombres premiers parmi les nombres inférieurs à n tend vers zéro. Cette formulation, même si elle adopte un jargon pseudo-mathématique, ne satisfait cependant pas les spécialistes, car elle demeure bien trop approximative *(lire p. 38)*. *« Aucune*



LES NOMBRES PREMIERS SE RARÉFIENT
Aucune loi ne peut à ce jour prévoir cette diminution lorsque l'on atteint les grands nombres. On peut la représenter *(ci-contre)* dans des tranches successives de même taille (ici 5000 chiffres après 0, mille, 1 million...). L'ensemble rappelle le comportement d'un milieu naturel comme la décroissance radioactive ou la raréfaction d'un gaz.


SETI.ORG

COSMOS

Carte de visite pour les extraterrestres

Comment parler aux extraterrestres ? Le radiotélescope d'Arecibo (Porto Rico) exploité par l'université Cornell (Ithaca, États-Unis) a émis le 16 novembre 1974 un message radio vers l'espace, formé d'une suite de 1679 « 0 ou 1 » (en langage binaire). Pour que se forme un dessin, les 0 sont représentés en noir, les 1 en couleur. Le nombre 1679 a été choisi parce qu'il est le produit de deux nombres premiers et ne peut donc être divisé qu'en 23 lignes et 73 colonnes, ou 73 lignes et 23 colonnes. Ainsi, par son format comme par sa signification, le message est censé montrer l'intelligence humaine. Les E.T. l'ont-ils reçu ?

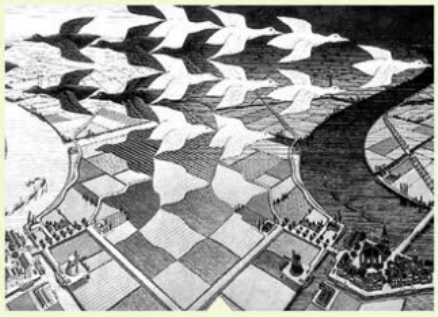
INTERVIEW

JACQUES DUBUCS
DIRECTEUR DE RECHERCHE AU CNRS, PHILOSOPHE DES MATHÉMATIQUES
AU LABORATOIRE « SCIENCES, NORMES, DÉCISION »

« Ces nombres ont un lien très fort avec notre corps »

Pourquoi étudie-t-on les nombres premiers ?
Je répondrai *« en l'honneur de l'esprit humain »*, en citant le mathématicien allemand Charles Gustave Jacobi, mort en 1851 à Berlin. L'expression a inspiré le Français Jean Dieudonné, membre de l'Académie des sciences et grande figure du XX^{e} siècle, qui en a fait le titre d'un livre. C'est la raison principale, même si, près de 2000 ans après le début des travaux sur les nombres premiers, une application est apparue : le codage. C'est miraculeux ! Nous avons mis plus d'un millénaire pour trouver une application de cette propriété.
Le fait que la recherche de nombres premiers, qui ne relevait que d'une curiosité intellectuelle, puisse aboutir à une telle entreprise — avec ses ramifications dans tous les domaines de la vie — laisse penser que bien d'autres surprises pourraient jaillir.

Leur attrait vient-il de leur caractère imprédictible ? Comment expliquer alors qu'une suite de nombres aléatoires ne nous fascine pas autant ?
Parce que précisément la suite des nombres premiers est imprédictible mais pas aléatoire. C'est une subtile distinction qui prend tout son sens en mathématiques. L'aléatoire a une définition bien précise : on peut qualifier une série d'aléatoire lorsqu'elle-même est sa plus courte description ! Autrement dit, la plus simple description d'une série de nombres aléatoires est de donner cette série elle-même. Comment décrire par exemple la série « 3, 8, 77, 102... » de la plus courte manière ? Il vaut mieux l'annoncer directement. Or, la suite des nombres premiers peut être décrite : tous les nombres uniquement divisibles par 1 et par eux-mêmes. On ne peut donc la qualifier d'aléatoire. En revanche les nombres premiers sont imprédictibles : en connaissant les *n* premiers nombres premiers il est impossible de deviner le « *n+1* » ^{ème}. De la même manière, nous ne savons toujours pas prédire combien de ces nombres existent dans l'intervalle entre 100 et 200 par exemple. Il nous faut les examiner un par un, et la fameuse fonction zêta de Riemann, dont la résolution pourrait répondre à ce genre de questions, nécessite des mathématiques très complexes. Pourtant la définition même des nombres premiers est extrêmement simple. Que des notions aussi élémentaires puissent mener à une telle sophistication est déroutant et fascinant !



2013 THE M.C. ESCHER COMPANY - THE NETHERLANDS

« Night and Day » d'Escher illustre comment la complexité peut naître des éléments — ici des figures géométriques — les plus simples.

Quelles autres complexités présentent ces nombres premiers ?
Considérons leur raréfaction au fur et à mesure que nous approchons des grands nombres : aucune loi simple ne peut la décrire. Cela ressemble à première vue à un phénomène naturel — biologique ou physique : comme la raréfaction d'un gaz ou la désintégration d'une substance radioactive. Comme si leur description dépendait d'un grand nombre de facteurs (température, pression, concentration...), nous ne parvenons pas à en donner une estimation exacte, il nous faut faire appel à des méthodes statistiques. Pourtant, nous avons défini les nombres premiers de manière très simple. Pour quelles raisons avons-nous besoin de tant de complexité pour décrire les propriétés d'éléments aussi simples ?

Vous en déduisez que « la complexité peut naître d'un processus très simple et élémentaire »...
Oui, et cela nous oblige à revoir l'idée même que nous nous faisons des mathématiques. Les fondations de l'édifice « mathématique » sont des constructions très simples que nous enseignons à des enfants de 10 ans, comme l'addition, la multiplication. Or, nous nous apercevons que pour comprendre cette base simplissime, nous avons besoin d'un très grand degré de sophistication : tout se passe comme si pour décrire les fondations de l'immeuble, nous avions besoin de connaître la nature du grenier et du toit ! Les propriétés de la base dépendent étrangement de celles des étages. Voilà qui remet en question notre conception classique des mathématiques, celle des strates successives les unes déduites des autres, une vision verticale, linéaire. Il nous faut voir ce domaine de la pensée comme un tissu aux fils enchevêtrés...

Quelle signification profonde doit-on rechercher dans la suite des nombres premiers : une propriété de l'espace, du temps, de l'intelligence humaine ?
Les nombres ont un lien très fort avec nous, notre corps, notre humanité. Une des plus grandes capacités cognitives est de mettre en rapport chacun de nos dix

FRANCESCO ACERBIS POUR SCIENCES ET AVENIR

doigts avec un objet, et ainsi de pouvoir compter jusqu'à dix, puis de varier la manière de compter : les nombres pairs, impairs, les nombres premiers. L'arithmétique décrit précisément le fonctionnement de l'intelligence. Les nombres correspondent à la manière dont le cerveau humain encode le monde, l'Univers. Ils ne sont pas l'expression d'un élément étranger à nous-mêmes. Finalement, ils reflètent notre propre fonctionnement.

Les nombres ont-ils une existence intrinsèque comme l'entendait Pythagore ou sont-ils des constructions humaines ?
C'est la question clé des mathématiques : sont-elles une invention ou existaient-elles dans la nature avant d'avoir été découvertes. Il est très difficile d'y répondre. C'est une affaire de point de vue. Considérons le fameux tableau du peintre néerlandais Escher *(voir l'illustration)* : à la base, il y a des figures très simples, une série de losanges, comme les axiomes de base de l'arithmétique ou la définition des nombres premiers. Ce sont nos propres constructions élémentaires, *a priori* totalement accessibles à notre compréhension. Mais ces losanges se transforment au fur et à mesure en oiseaux... portant en eux la complexité du vivant. Ce bord supérieur du tableau est analogue à la complexité engendrée par les nombres premiers. Si nous observons le monde depuis la base, nous reconnaissons nos fondamentaux, nos briques élémentaires, et nous pouvons alors affirmer que les nombres sont une construction humaine. Mais si nous regardons du côté des oiseaux, nous plongeons dans la perplexité d'un univers impénétrable, et nous estimerons que la nature est elle-même mathématique. À partir de quel moment les losanges deviennent-ils oiseaux ? C'est la question de passage entre ces deux univers qui constitue notre ignorance.

Propos recueillis par A. Kh.

> « Pour comprendre les bases simplissimes des maths, nous avons besoin d'un grand degré de sophistication »

équation n'est capable de nous donner la quantité de nombres premiers entre 100 et 1000, ou entre 10 000 et 100 000 », explique ainsi Jean-Paul Delahaye. Pourra-t-on jamais la découvrir ? Une piste semble prometteuse, celle de l'hypothèse de Riemann, issue des travaux de Bernhard Riemann. La répartition des nombres premiers ne pourrait-elle pas être donnée par les « nœuds » de la fonction complexe (c'est-à-dire les valeurs pour lesquelles la fonction devient égale à zéro), appelée zêta — du nom de la sixième lettre de l'alphabet grec —, comme la baptisa en 1859 le mathématicien allemand ?

Cinq problèmes continuent de faire de la résistance

C'est ce problème qui résiste depuis plus d'un siècle même si quelques résultats décisifs ont été obtenus par le Français Jacques Hadamard (1865-1963) et le Belge Charles-Jean de La Vallée Poussin (1866-1962). Quarante ans après sa formulation, la fonction zêta devint très célèbre, lorsqu'en 1900, lors du deuxième Congrès international de mathématiques qui se tint à Paris, une liste de 23 problèmes irrésolus fut présentée par l'Allemand David Hilbert. Parmi eux, figurait déjà l'énigme de Riemann.

Un siècle après, cinq de ces 23 problèmes continuent de faire de la résistance. En 2000, le Clay Mathematics Institute, à Boston, a réitéré ce qui est devenu une tradition dans la discipline : annoncer les défis à relever et instituer ainsi une émulation au sein de la communauté des mathématiciens. Parmi les sept problèmes du millénaire qui devront déterminer la recherche en mathématiques du XXIe siècle — au moins —, la fameuse fonction zêta fait bonne figure. Cette fois-ci, il y a une récompense non négligeable à la clé : un million de dollars pour la résolution d'un de ces

problèmes. À condition que la solution soit acceptée — au bout de deux ans — par les pairs. Le temps nécessaire pour vérifier ou infirmer le travail.
La fonction zêta a été graphiquement représentée de mutliples manières, et en multicolore... rappelant des images psychédéliques des années 1970 *(lire p. 34)*. Sa forme complexe en dit long sur la difficulté à estimer la répartition des nombres premiers. *« Comprendre pourquoi ces nombres premiers, dont la définition est extrêmement simple et à la portée de chacun depuis des siècles, peuvent générer des structures aussi complexes est en soi une énigme »*, fait remarquer Jacques Dubucs, directeur de recherche au CNRS et philosophe des mathématiques *(lire l'entretien p. 38)*. C'est à une bien étrange loi qu'obéit cette suite de nombres. Se pourrait-il qu'elle nous échappe à jamais ? *« Nous ne pouvons qu'être surpris par cette complexité qui émerge des définitions simples et élémentaires que nous nous sommes données comme de simples curiosités de l'esprit »*, constate-t-il.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

LES TAPIS DE SIERPINSKI
Il s'agit de représentations graphiques *(ci-contre)* élaborées par le Polonais Waclaw Sierpinski (1882-1969) : des suites auxquelles on a retiré certains nombres, en lien par exemple avec les nombres premiers. Ce qui fait apparaître des structures géométriques en dentelles (en jaune).

Les mathématiciens n'en finissent pas de goûter à cet étonnement, à l'image de leur collègue américain d'origine polonaise Stanislaw Ulam. En 1963, il assiste à un long exposé fort ennuyeux. Là où certains esprits vagabonds dessinent des caricatures de l'orateur ou des figures géométriques sur leur feuille de papier quadrillée..., Ulam décide d'écrire la suite des nombres entiers sous forme d'une spirale qui tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre : 1, 2, 3, 4, 5, 6 et ainsi de suite. Alors que l'exposé s'éternise, le mathématicien commence machinalement à entourer les nombres premiers. Quelle ne fut pas sa surprise de découvrir que les nombres premiers s'alignaient le long des diagonales !

Une structure régulière ne peut être le fruit du hasard

Depuis, la spirale d'Ulam a été construite pour des nombres de plus en plus grands... et à chaque fois, le cortège des nombres premiers se range docilement le long des diagonales. L'ensemble forme une trame complexe où se détachent des lignes régulières parallèlement à la diagonale.
Or, une figure qui présente ainsi une structure périodique et régulière ne peut être le fruit du hasard. Une loi sous-jacente y est à l'œuvre, qui imprime cette structure périodique. Mais Ulam, mort en 1984, n'est pas parvenu à éclairer totalement le mystère des diagonales, laissant aux nombres premiers toute leur capacité d'émerveiller encore des générations de mathématiciens. ■

POUR EN SAVOIR PLUS

- **« La Symphonie des nombres premiers »,** Marcus de Sautoy, éditions Héloïse d'Ormesson, 2003 : C'est l'histoire passionnante de cette recherche racontée à la manière d'une enquête policière, que nous livre le mathématicien de l'université d'Oxford.
- **Un site Web très complet sur les maths :** sciav.fr/16pd4mm, où une place importante est faite aux nombres premiers.
- **Un site** (en anglais) qui recense tout sur les nombres premiers : http://primes.utm.edu/

CRYPTOGRAPHIE

Le redoutable codage du système RSA

Mis au point pour sécuriser les transactions sur Internet, ce code repose sur le théorème fondamental de l'arithmétique.

À la base du système de codage développé par Ron Rivest, Adi Shamir et Len Adleman, qui est devenu le code RSA, utilisé dans les transactions sur Internet, il y a le théorème fondamental de l'arithmétique : tout entier strictement positif peut être écrit comme un produit de nombres premiers d'une unique façon. Le système RSA utilise une combinaison de nombres premiers où le codage est bien plus facile que le décodage : c'est cette asymétrie qui sécurise le système. Le codage du message s'effectue selon un processus qui est rendu public. Pour décoder il faut une autre clé uniquement utilisée par le destinataire. *« Ce système peut être comparé à une distribution de courrier : le facteur possède une clé passe-partout qui ouvre toutes les boîtes aux lettres. Il peut déposer un message dans chaque boîte. Mais chaque résident possède une clé qui n'ouvre que sa boîte »*, commente Jean-Paul Delahaye. *(lire* S. et A. *n° 759)*.

Merveilleux nombres premiers

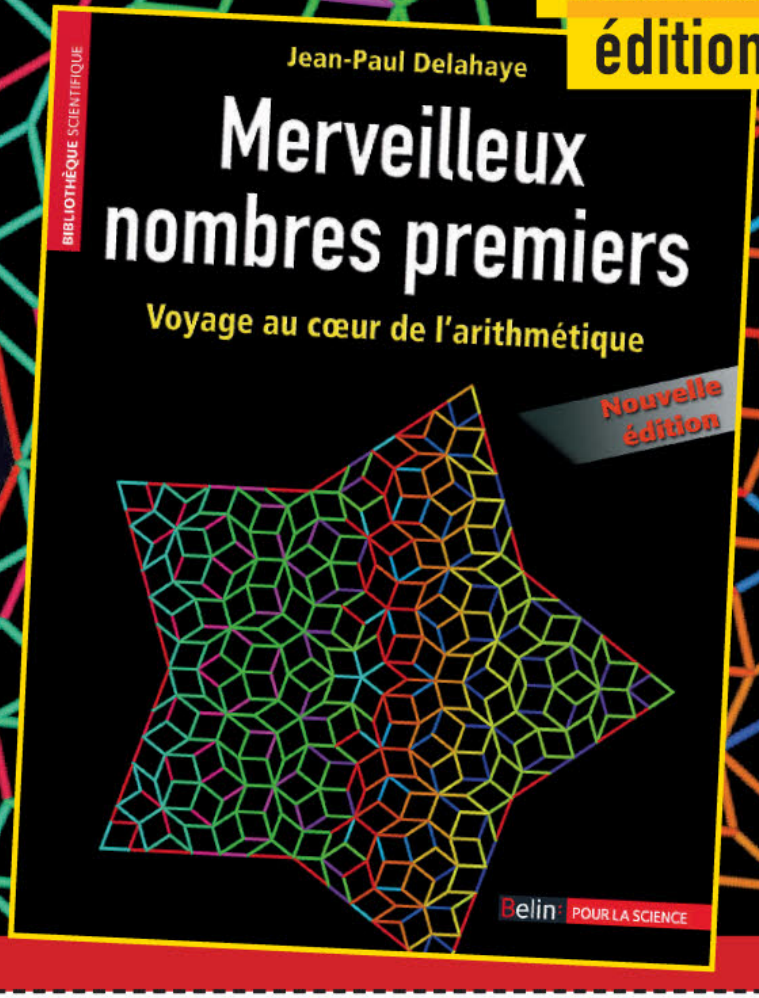
Voyage au cœur de l'arithmétique

Nouvelle édition

Jean-Paul Delahaye

Les nombres premiers fascinent. Connus dès les débuts de l'arithmétique, ils ont excité la curiosité de milliers de mathématiciens. Ils sont au cœur de la science des nombres, car tout entier se décompose de façon unique en un produit de facteurs premiers. Dans cet ouvrage, l'auteur mêle éclaircissements théoriques et anecdotes piquantes.

Éditions Belin/Pour la Science 2013
296 pages – 28 euros
ISBN 978-2-8424-5117-2



BON DE COMMANDE

POUR LA SCIENCE

à découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil • Tél. : 0 805 655 255 • e-mail : pourlasciencevpc@daudin.fr

❑ **Oui, je commande l'ouvrage *Merveilleux nombres premiers* de J.-P. Delahaye.**

..... exemplaires × 28,00 € (Réf. 075117) = ... €
Frais de port (4,90 € France – 12 € étranger) + ... €
TOTAL À REGLER = ... €

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____
_____
C.P. : |_|_|_|_|_| Ville : _____
Pays : _____ Tél. : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
Pour le suivi client (facultatif)

Je choisis mon mode de règlement :

❑ par chèque à l'ordre de *Pour la Science*
❑ par carte bancaire
Numéro |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
Date d'expiration |_|_|_|_|
Cryptogramme |_|_|_|

Signature obligatoire

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. **Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ❑.**

E-mail pour recevoir la newsleter *Pour la Science* **(à remplir en majuscules).**
|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_

Ariane 6, l'espace à bon marché

Le futur lanceur européen, dont le premier vol est attendu vers 2021, mettra en orbite des satellites moins lourds et pour 30 % moins cher. Revue de détail de ce nouveau Meccano spatial.

Par Sylvie Rouat

LA NOUVELLE GÉNÉRATION de lanceur européen, Ariane 6, est désormais sur la rampe de tir... pour un premier vol attendu vers 2021 depuis la base spatiale de Kourou, en Guyane. Jean-Yves Le Gall, le nouveau président du Cnes, l'agence spatiale française, et Geneviève Fioraso, ministre de la Recherche, ont présenté en juillet la configuration définitive du successeur d'Ariane 5. Le dernier événement de même ampleur remonte à 1987, date à laquelle avait été lancé le programme Ariane 5. Il aura donc fallu attendre 26 ans pour qu'une nouvelle génération émerge.

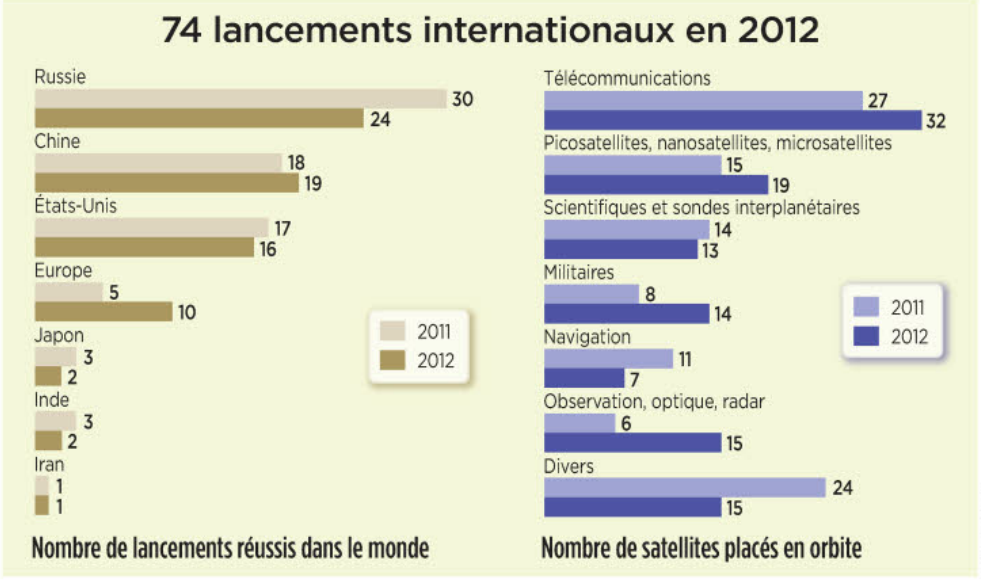
La capacité d'emport a été revue à la baisse

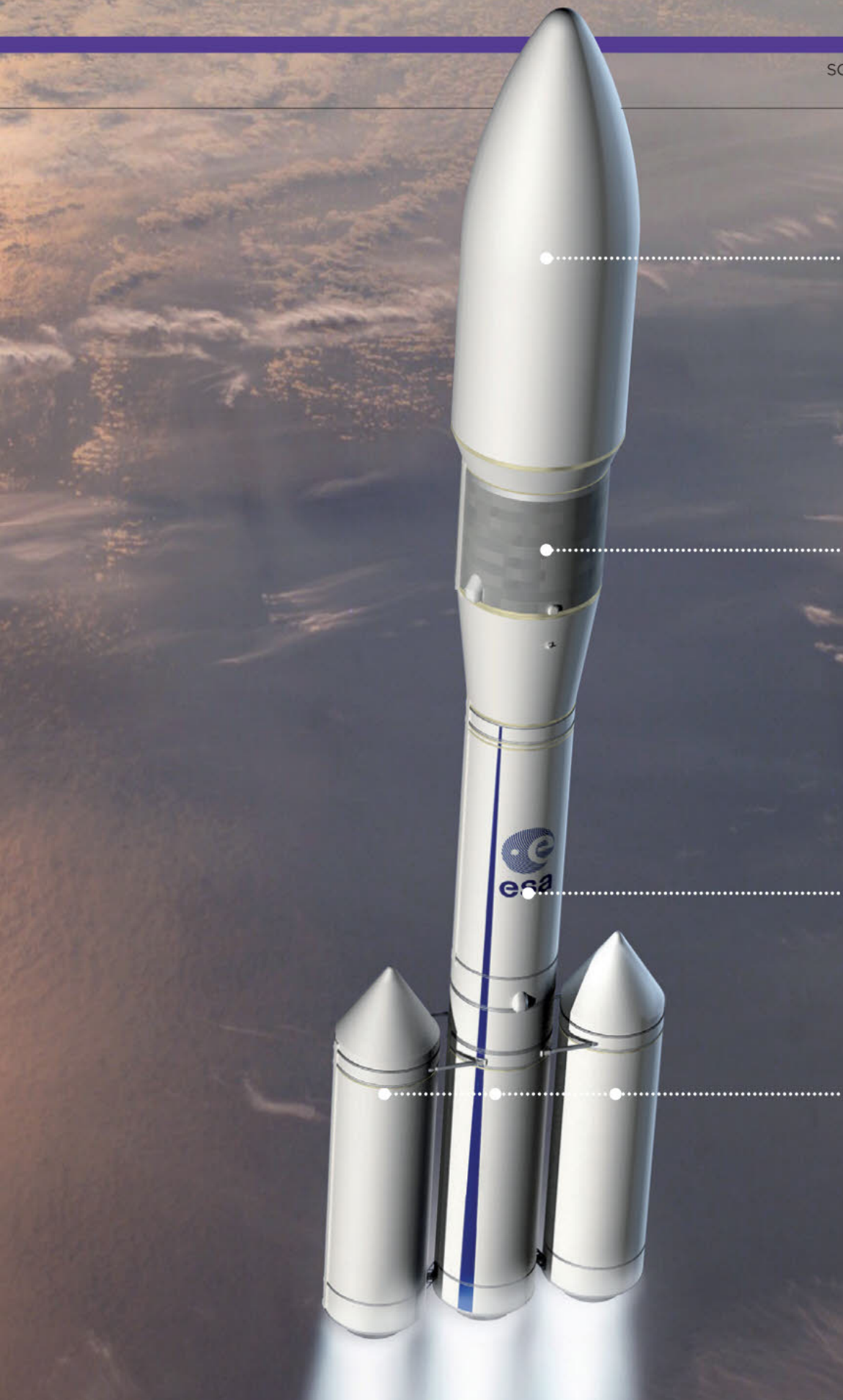
D'apparence, Ariane 6 sera à peine moins haute que son aînée mais plus légère : 650 tonnes au lieu de 780. La principale différence viendra en fait de sa capacité d'emport — la charge qu'elle pourra mettre en orbite —, à savoir des satellites jusqu'à 6,5 tonnes en orbite de transfert géostationnaire (GTO, selon le sigle anglais). Soit bien moins qu'Ariane 5, qui pouvait emporter jusqu'à 9 tonnes en GTO et avait la spécificité de pouvoir abriter deux satellites sous sa coiffe.

La raison de ce changement stratégique tient à ce que ce concept, novateur à l'époque, est devenu au fil du temps un fil à la patte. D'abord parce qu'accoupler deux satellites — ce qui avait le bon goût de diviser le coût de lancement — devenait un casse-tête : cela obligeait certains clients à attendre que l'on trouve un satellite compatible en termes de masse avec le leur, retardant d'autant la date du lancement. Ensuite, parce que le marché le plus rentable est celui de la mise en orbite géostationnaire des satellites de télécommunications. Or celui-ci comprend une majorité de satellites de 6 tonnes en moyenne. Il était donc urgent d'éviter que cette part de marché migre vers des lanceurs non dimensionnés et plus rapides à mettre en œuvre, tel le tout nouveau Falcon 9 de la société privée américaine Space X.

650 tonnes
le poids d'Ariane 6 au lieu de 780 tonnes pour Ariane 5.

Ariane 6 sera donc plus modeste. Crise oblige, elle devra être développée pour 2,5 à 3,5 milliards d'euros, quand l'enveloppe allouée à Ariane 5 était de 10 milliards. Une économie en partie réalisable en raison du peu d'innovations déployées pour ce nouveau lanceur qui reprendra des technologies éprouvées sur les deux autres lanceurs européens, Ariane 5 et Vega. L'ensemble devra pouvoir être rapidement produit en série. Résultat : *« Les vols seront 30 % moins cher qu'Ariane 5 »*, affirme Jean-Yves Le Gall. Soit 70 mil-





COIFFE Elle pourra emporter jusqu'à 6,5 tonnes, contre 10 tonnes pour Ariane 5, mais en offrant le même volume utilisable. D'où la possibilité d'y loger deux satellites.

3e ÉTAGE Doté du moteur cryotechnique rallumable Vinci, fonctionnant à hydrogène et oxygène liquides, il a été développé pour la version Ariane 5 ME, qui sera mise en service en 2018. D'une poussée de 18 tonnes, le moteur Vinci sera capable de rallumages multiples afin d'optimiser la mise en orbite des satellites.

2e ÉTAGE : Propulseur identique à ceux du premier étage, moteur dit à poudre (P130).

1er ÉTAGE Trois propulseurs identiques à propergol solide (butalane). Ils sont composés d'une enveloppe en fibre de carbone (plus légère que l'acier d'Ariane 5) contenant 135 tonnes de poudre, contre 88 pour le premier étage de Vega, dont ils sont les descendants, étage qui était lui-même inspiré des accélérateurs d'appoint d'Ariane 5.

ESA

ENTRETIEN

ESA

ANTONIO FABRIZI

DIRECTEUR DES LANCEURS DE L'AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE (ESA)

« Nos clients aspirent à plus de flexibilité et de rapidité »

L'architecture d'Ariane 6 est finalement très conventionnelle. Pourquoi ce choix ?
Par raison. Nous avons consulté nos clients pour connaître leurs besoins : ils aspirent à plus de flexibilité, plus de rapidité. Autrement dit, il nous faut leur proposer des lancements uniques qui ne nécessitent pas de faire coïncider leur calendrier avec celui d'autres opérateurs. De plus, Ariane 6 doit arriver rapidement sur le marché, avec un coût compétitif. Cette configuration est donc la plus adaptée à ces contraintes. Mais les technologies choisies sont très récentes : les propulseurs à poudre découlent de ceux du lanceur Vega, inauguré en 2012, et le moteur Vinci ne volera qu'en 2018, lors de la mise en service de la nouvelle Ariane 5 ME.

Pourquoi avoir choisi un modeste emport de 6 tonnes alors que les Chinois mettent au point un lanceur capable d'emporter 14 tonnes en orbite ?
Nous nous alignons sur la concurrence. Ariane 6 sera capable de lancer les mêmes charges que ses concurrents — qui sont surtout aujourd'hui les fusées russes Proton et Falcon 9. Les opérateurs font des satellites compatibles avec au moins deux types de lanceurs. Or Proton emporte 6 tonnes au maximum et Falcon 9 met en orbite 3,5 tonnes. La compétition se joue donc sur ces deux classes de satellites. De plus, la propulsion électrique remplace de plus en plus la propulsion chimique : plus légère, elle permet de gagner de la masse utile et d'installer davantage d'instruments.

A-t-on enterré l'idée de l'avion spatial réutilisable ?
Tous les nouveaux lanceurs et ceux en développement sont des fusées classiques. C'est lié à la cadence des lancements. Aujourd'hui, Ariane 5 fait six lancements doubles par an, ce qui équivaudra à 12 lancements pour Ariane 6. Cela n'a pas de sens de mettre en place un système de maintenance très lourd pour des cadences aussi faibles. C'est l'intensification de la demande qui conduira à une rupture technologique. **Propos recueillis par S. R.**

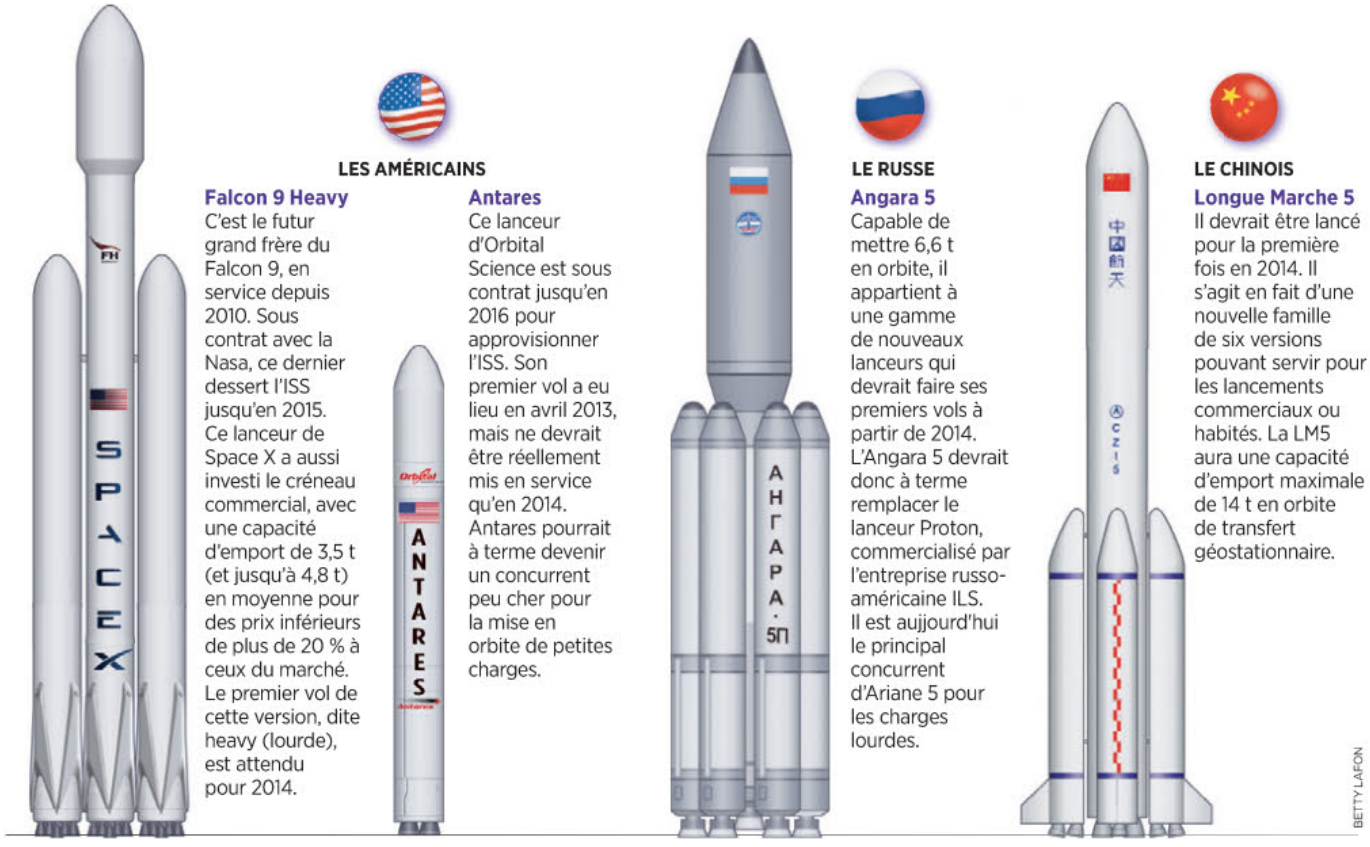
lions d'euros le vol contre 100 millions. Pour parvenir à abaisser les coûts de lancement d'Ariane 6, une grande opération de recyclage a été menée. Après trois ans de brainstorming et plus de 120 concepts étudiés dans la « Salle du futur » de la direction des lanceurs du Cnes, à Paris, les 50 experts ont opté pour le principe dit du PPH (poudre-poudre-hydrogène) : les deux premiers étages seront à poudre (propergol solide), le dernier à hydrogène et oxygène liquides. Chacune de ces technologies a été mise au point et testée pour deux autres lanceurs.

Le moteur Vinci vise aussi à limiter les déchets orbitaux

Quatre modules identiques à poudre sont les descendants directs du premier étage de Vega, le plus petit des lanceurs européens. Trois d'entre eux, chargés de 135 tonnes de poudre, formeront le premier étage d'Ariane 6 chargé d'assurer le décollage avec une poussée de plus de 1000 tonnes. Le quatrième module à poudre formera le second étage qui, en s'allumant deux minutes plus tard, prendra le relais de la poussée.
Enfin, le troisième étage cryotechnique sera équipé du moteur Vinci de la société Snecma, jumeau de celui mis au point pour la future évolution Ariane 5 ME : soit un moteur rallumable, qui donne la possibilité de moduler la poussée. Avantage connexe : ce moteur permettra, en fin de mission, soit de placer l'étage sur une orbite « cimetière », soit de le désorbiter en le faisant entrer et brûler dans l'atmosphère. L'objectif étant de limiter les déchets orbitaux.
La coiffe aura le même diamètre utile que celle d'Ariane 5. Mais à quoi ressembleront au juste les satellites de 2020 ? C'est à cet exercice périlleux que se sont livrés également les 50 experts enfermés dans la Salle du futur, notant que le marché s'oriente vers des équipements à propulsion électrique qui offrent un gain de masse de près de 50 %. Contrepartie : la propulsion devient plus faible et le temps de placement sur l'orbite finale s'allonge. Il faut donc que le lanceur puisse compenser, en lâchant son satellite à une altitude plus élevée. En outre, il est prévu d'augmenter les cadences de lancement pour rester rentable. Il est ainsi prévu de commencer à un rythme de huit à neuf lancements simples par an, pour atteindre 12 voire 15 lancements annuels.
Entre-temps, il faudra résoudre la question de l'avenir à Kourou de Soyouz, le lanceur russe que l'Europe utilise actuellement pour mettre en orbite les satellites de 3 tonnes, un besoin qui sera couvert par les performances d'Ariane 6. L'accord signé avec les Russes jusqu'en 2016 pourrait ainsi ne pas se prolonger, ou de très peu. Si Ariane 5 a installé l'Europe comme un acteur majeur du spatial, Ariane 6 ouvre l'ère de la maturité et de la compétitivité commerciale. Et enterre pour l'instant les rêves de vol habité ou de renouveau technologique.
Jean-Yves Le Gall, nouveau patron du Cnes mais aussi ancien directeur d'Arianespace, la société de commercialisation des tirs d'Ariane, a gardé l'œil rivé sur les marchés. Il veut tenir la dragée haute à une concurrence qui s'in-

Huit à neuf lancements par an sont d'ores et déjà prévus pour ensuite atteindre douze à quinze

Les lanceurs concurrents d'Ariane 6



LES AMÉRICAINS

Falcon 9 Heavy
C'est le futur grand frère du Falcon 9, en service depuis 2010. Sous contrat avec la Nasa, ce dernier dessert l'ISS jusqu'en 2015. Ce lanceur de Space X a aussi investi le créneau commercial, avec une capacité d'emport de 3,5 t (et jusqu'à 4,8 t) en moyenne pour des prix inférieurs de plus de 20 % à ceux du marché. Le premier vol de cette version, dite heavy (lourde), est attendu pour 2014.

Antares
Ce lanceur d'Orbital Science est sous contrat jusqu'en 2016 pour approvisionner l'ISS. Son premier vol a eu lieu en avril 2013, mais ne devrait être réellement mis en service qu'en 2014. Antares pourrait à terme devenir un concurrent peu cher pour la mise en orbite de petites charges.

LE RUSSE

Angara 5
Capable de mettre 6,6 t en orbite, il appartient à une gamme de nouveaux lanceurs qui devrait faire ses premiers vols à partir de 2014. L'Angara 5 devrait donc à terme remplacer le lanceur Proton, commercialisé par l'entreprise russo-américaine ILS. Il est aujjourd'hui le principal concurrent d'Ariane 5 pour les charges lourdes.

LE CHINOIS

Longue Marche 5
Il devrait être lancé pour la première fois en 2014. Il s'agit en fait d'une nouvelle famille de six versions pouvant servir pour les lancements commerciaux ou habités. La LM5 aura une capacité d'emport maximale de 14 t en orbite de transfert géostationnaire.

tensifie et se diversifie. La Chine, par exemple, a longtemps été interdite de marché commercial en raison des règles américaines ITAR (International Traffic in Arms Regulations) qui, depuis 1989, encadraient tout transfert de technologies militaires vers la République populaire. Or, nombre de composants spatiaux étaient considérés comme sensibles, aucun satellite incluant un composant américain ne pouvait être lancé par la Chine. Pour contourner l'écueil, des fabricants ont construit des satellites « ITAR free », sans aucun composant américain, afin de bénéficier des prix cassés de la gamme des fusées Longue Marche (1, 2, 3, 4 et dès 2014 le modèle 5), mises au point progressivement depuis 1958. Le secteur spatial chinois étant largement subventionné par les lancements étatiques, le pays peut en effet se permettre de proposer des prix défiant toute concurrence.

Des sociétés privées américaines sont en lice

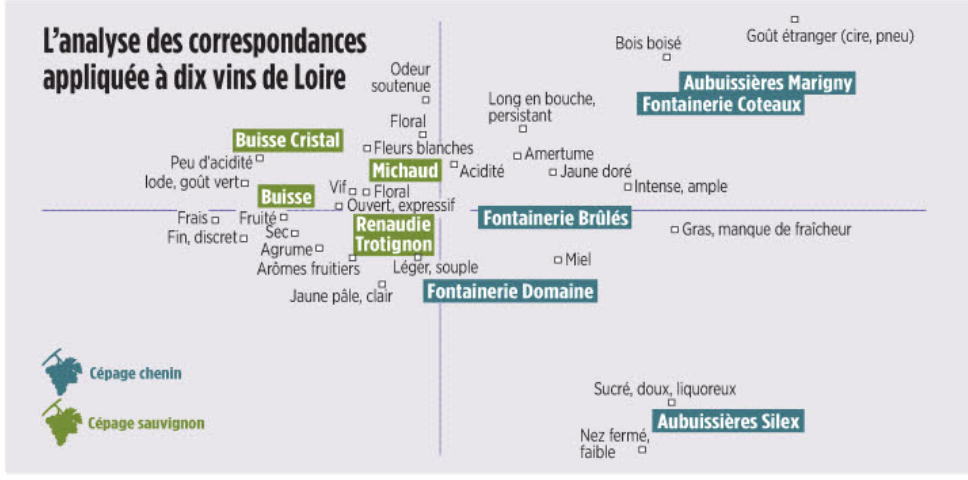
Mais c'est surtout l'arrivée de deux acteurs privés américains, les sociétés Space X et Orbital Science, qui inquiète le directeur du Cnes. *« C'est en réalité du privé hypersubventionné par l'État américain »*, précise Jean-Yves Le Gall. À l'arrêt des navettes en 2011, la Nasa a en effet demandé à des entreprises privées de reprendre le flambeau pour assurer la desserte de la Station spatiale internationale (ISS). Space X et Orbital Science ont ainsi été sélectionnées, avec un carnet de commandes assuré par l'agence spatiale américaine : la première a déjà réussi deux lancements vers l'ISS avec Falcon 9, surmonté de la capsule Dragon. Nouveau venu sur le marché, Falcon 9 a des prix de lancement deux fois moins élevés que ceux d'Ariane 5 ! La seconde a développé le lanceur Antares et la capsule Cygnus, destinée aussi à délivrer du fret à l'ISS. Un vol de démonstration devrait être réalisé dans les prochaines semaines. Ironie de l'histoire, une partie importante de cette capsule est fabriquée en Europe, dans les installations turinoises de Thales Alenia Space, qui a fabriqué les cargos automatiques européens ATV destinés à ravitailler l'ISS. Le dernier ATV volera en 2014, mais cette aventure européenne a permis de développer un savoir-faire industriel qui aujourd'hui attire même les concurrents américains. En sera-t-il de même pour Ariane 6 ? ■

Les statistiques, un outil pour comprendre les mots du vin

Deux chercheurs ont utilisé une méthode mathématique pour étudier les corrélations entre les noms de vins et les adjectifs qui les caractérisent.

Fruité, boisé, intense… Les œnologues ne manquent pas de vocabulaire pour caractériser un vin. François Husson et Jérôme Pagès, du Laboratoire de mathématiques appliquées d'Agro-campus Ouest à Rennes, avec Jean-Paul Gouvazé et Christian Asselin, d'InterLoire (organisation interprofessionnelle des vins de Loire), ont voulu savoir si ces adjectifs correspondaient à un profil typique de vin ou s'ils étaient indifféremment employés pour des cépages très variés.

Dix vins de Loire — cinq cépages sauvignon, appellation touraine, cinq cépages chenin, appellation vouvray — ont été présentés lors d'une dégustation à l'aveugle à 12 œnologues. Ceux-ci ont eu la liberté de décrire le nectar avec leurs propres mots, les mathématiciens tenant compte au final uniquement des termes ayant été cités plus de trois fois. 30 mots, prononcés chacun entre 20 et 28 fois, ont ainsi été soumis à une méthode statistique appelée analyse des correspondances *(lire l'encadré)*, dont la spécificité est de placer sur le même tableau à la fois les variables (les vins) et les valeurs (les mots). Le résultat est présenté sous la forme d'un graphique *(voir ci-dessus)*.



La méthode permet de représenter sur le même graphique les vins et les mots qui les décrivent, afin de visualiser la proximité de deux cuvées du même cépage.

On y distingue deux pôles bien définis par un nombre restreint d'adjectifs : le vouvray domaine des Aubuissières silex, caractérisé par des mots évoquant le sucré (il est effectivement le seul à contenir du sucre résiduel), et l'Aubuissières Marigny ainsi que le domaine de la Fontainerie Coteaux qualifiés de « boisés » : ces deux vins ont été élevés en fût. Un troisième pôle, constitué des cinq vins d'appellation Touraine, est quant à lui moins défini, ceux-ci étant souvent qualifiés de « frais » et « aromatique ». L'axe vertical sépare les sauvignons (à gauche, en vert) des chenins (à droite, en bleu) sur la base de la fraîcheur et de l'expression aromatique. Quant à l'axe horizontal, il différencie les chenins entre eux selon « goût sucré/goût boisé ». Que conclure ? « *Que les sauvignons sont homogènes et les chenins divers* », explique François Husson. Autrement dit, il n'y aurait qu'une seule façon de faire du sauvignon et de nombreuses façons de faire du chenin. ■ **Azar Khalatbari**

THÉORIE

L'analyse des correspondances

Cette méthode a été conçue à Rennes au début des années 1960 par Jean-Paul Benzécri, fondateur de l'École française d'analyse des données. Elle est couramment utilisée pour représenter le profil des différents produits et leur proximité. Elle consiste à mettre en correspondance deux nuages de points. Dans l'exemple des vins, dix points représentent les dix crus : plus les vins sont décrits par les mêmes adjectifs, plus leur position dans le nuage est proche. Le second nuage représente les adjectifs : deux adjectifs utilisés pour décrire les mêmes vins sont proches. *« La méthode de l'analyse des correspondances ramène l'ensemble des points de ces deux nuages au niveau d'un plan. »* Ainsi chaque vin se trouve du côté des mots avec lesquels il a été souvent associé et chaque mot à proximité du vin qu'il qualifie.

☐ **Carole,** en lutte contre le cancer

☐ **Paul,** malade d'Alzheimer

☐ **Jean,** victime d'un AVC

Le plus insupportable serait de devoir choisir entre ces malades.

En donnant à la Fondation pour la Recherche Médicale,
vous choisissez de lutter contre toutes les maladies.

Cancers, maladie d'Alzheimer, dépression, hépatites, insuffisance cardiaque, maladies rares…
la Fondation identifie et finance, grâce à vos dons, les projets de recherche les plus prometteurs
dans tous les domaines de la médecine.
Chaque année, plus de 750 recherches porteuses d'espoir de progrès médical sont ainsi développées.
En soutenant la Fondation pour la Recherche Médicale, vous participez au développement
d'une recherche médicale de pointe, au service de votre santé, de celle de vos proches.
De la santé de tous.

Faites un don sur frm.org

FONDATION RECHERCHE MÉDICALE

POUR QUE LA RECHERCHE
BÉNÉFICIE À TOUS

DON en CONFIANCE comitecharte.org

Fondation pour la Recherche Médicale - 54 rue de Varenne - 75007 Paris

Fondation reconnue d'utilité publique

Coupon à retourner à **Fondation pour la Recherche Médicale**

☐ Je fais un don (par chèque) de.....

☐ Je souhaite en savoir plus sur les actions de la Fondation

Ces demandes ne m'engagent en aucune façon.

PJSA1132

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....Code postal : .....

Ville : ..... Téléphone : ..... Email : .....

Conformément à la loi du 6/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et d'opposition aux informations vous concernant, en vous adressant à la Fondation. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Si vous ne le souhaitez pas, vous pouvez cocher la case ci-jointe. ☐

MARC LACHIÈZE-REY
ASTROPHYSICIEN

« La notion de temps n'a pas de sens »

Dans son dernier essai, le chercheur redéfinit les concepts de temps et d'espace.

PIERRE MARAVAL

Âgé de 63 ans, le théoricien travaille sur la topologie de l'espace-temps, la gravitation, la nature de l'espace et du temps, au Service d'astrophysique du CEA, à Saclay (Essonne).

Sciences et Avenir : Dites-nous vraiment, « voyager dans le temps », est-ce possible ?
Marc Lachièze-Rey : Le voyage dans le temps n'est possible que si le temps n'existe pas. Or justement, dans mon livre je défends l'idée que la notion de temps n'a pas de sens en physique moderne, selon la relativité générale, la théorie élaborée par Albert Einstein. Ce qui, *a priori*, pourrait permettre le voyage temporel. Dans cette théorie, on peut voir ma vie comme une ligne d'Univers dont chacun des points représente un instant et la position dans l'espace-temps que j'occupe à cet instant. Chaque point de cette ligne est un présent potentiel que j'ai occupé, occupe ou occuperai.
Revivre strictement mon passé, dix ans en arrière par exemple, consisterait à revenir dans l'état dans lequel j'étais à cette époque, avec toutes mes pensées d'alors et sans aucune conscience du futur de cet instant. Je ne saurais donc pas que je suis un « voyageur temporel ». Et il y a une règle épistémologique selon laquelle si quelque chose n'a aucune conséquence dont on puisse se rendre compte, ce quelque chose n'existe pas. S'il existe quelque part un monde avec un soleil rouge, mais que je n'ai aucun moyen de le savoir, ce monde n'existe pas. Donc, si je n'ai aucun moyen de savoir que j'ai fait un voyage dans le temps, ce voyage n'existe pas. Mais la théorie permet des situations beaucoup plus intéressantes que l'on peut qualifier de voyages dans le temps…

Le temps n'existe pas, dites-vous. Newton avait pourtant établi un temps universel sur lequel s'est fondée la physique moderne. S'est-il trompé ?
En fait, cette notion a tenu durant deux siècles, jusqu'au début du XX[e] siècle, où Einstein a montré qu'elle était inconciliable avec certains résultats d'observation. Ce fut l'origine de la théorie de la relativité restreinte qui décrit un espace-temps à quatre dimensions indissociables (correspondant aux trois de l'espace, plus celle du temps). Un peu plus tard, la relativité générale énonce que l'espace-temps est courbe et que sa courbure (sa forme) est façonnée par le contenu de l'Univers.
La notion de temps universel n'a pas cours dans l'espace-temps. Chacun de nous cependant, comme chaque système physique, ressent sa durée propre.

Voyager dans le temps, la physique moderne et la temporalité, Marc Lachièze-Rey, Seuil, 288 p., 21 €

Il peut la mesurer (par exemple avec sa montre) mais elle n'a de validité que pour lui seul, ne s'applique qu'à lui-même, ou à ce qui se trouve à la position qu'il occupe. Le point important tient à ce qu'il n'existe aucun moyen de synchroniser nos durées propres, de manière à constituer un temps qui serait valable pour tous. Un peu comme un champ où des épis de blé pousseraient dans toutes les directions sans qu'il soit possible d'en trouver une commune à tous.
Cela est strictement vrai mais ne se manifeste que si l'on exige une précision importante, ou si des vitesses élevées sont en jeu. En ce qui nous concerne nous pouvons, avec une précision limitée qui suffit à la vie de tous les jours, réconcilier toutes nos durées propres de manière à former ce « temps universel » dont parlait Newton. Il vaudrait mieux d'ailleurs l'appeler « temps de la planète Terre »,

car il ne possède aucune validité si l'on s'éloigne de notre planète, par exemple pour les télécommunications spatiales. Toute expérience de physique un peu précise est, elle aussi, totalement incompatible avec cette notion.
Même chose en astronomie. Situation extrême : une seconde de la durée propre d'un voyageur spatial qui s'approcherait d'un trou noir pourrait être « vue » par moi comme 150 000 ans de ma durée propre ! Sans que l'une plus que l'autre puisse revendiquer le statut d'un temps. Si le voyageur franchissait l'horizon du trou noir, il n'y aurait même plus de correspondance possible.

Il n'y a donc pas moyen, en relativité générale, de dater les événements ?
Non. S'il existait un moyen de dater les événements sans ambiguïté, cela permettrait de définir la simultanéité par simple comparaison des dates. Or Einstein a montré que cela était impossible. Prenons, par exemple, le cas de deux étoiles qui explosent en envoyant un signal lumineux. Si je suis placé exactement au milieu, les lumières des deux explosions m'arrivent simultanément. Mais si je suis plus près de l'une, je perçois la lumière de son explosion plus tôt, et elle me semble avoir explosé avant l'autre. Si le temps existait, ces événements auraient des dates objectives, et l'on pourrait décider sans ambiguïté s'ils sont simultanés ou non, ce qui, je le répète, est impossible.
La notion de distance est également ambiguë en relativité générale. On voudrait par exemple mesurer la distance qui sépare la Terre de Mars, qui suivent chacune leur orbite. Il faudrait choisir un moment pour évaluer cette distance. Mais cela est impossible : nul moyen de faire correspondre un instant terrestre à un instant martien. Aucun temps objectif ne permet de repérer les deux planètes à la fois ; les durées propres du Terrien, pertinentes sur Terre uniquement, ne peuvent repérer une position de Mars...
Tout cela se résume en énonçant que ce qui sépare deux événements, ce n'est ni une durée ni une distance, mais un intervalle d'espace-temps (et c'est bien ce que peut mesurer le physicien), ni vraiment spatial, ni vraiment temporel.

La science-fiction met en scène des interventions dans le passé qui changent le cours de l'histoire à venir. Qu'en dit la physique ?
C'est le paradoxe du grand-père : ayant voyagé dans le passé, je recherche mon ancêtre et le tue. Mais selon la physique, il est impossible de tuer son grand-père. Il n'y a pas deux versions de la réalité. Le voyage dans le temps, s'il est réalisable, n'offre pas la possibilité de changer son passé.

Peut-on non pas revivre le passé, mais le voir ?
Pour cela, il suffit de se regarder dans le miroir : il me renvoie l'image de celui que j'étais il y a quelques fractions de seconde, le temps qu'a mis le rayon lumineux pour aller de mon visage au miroir puis du miroir à mon œil. Un vaste miroir posté à une année-lumière de nous nous renverrait l'image de la Terre telle qu'elle était il y a deux ans. Or un trou noir peut agir d'une manière similaire. On peut imaginer, par exemple, que des rayons lumineux, émis par le corps d'un dinosaure il y a 65 millions d'années, aient fait le tour d'un trou noir et reviennent vers nous. Si nous savions les distinguer dans le bruit de fond ambiant, nous pourrions « voir » le dinosaure 65 millions d'années plus tard. ■

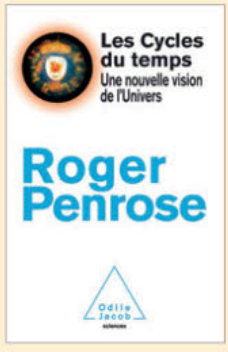
Propos recueillis par Sylvie Rouat

Dans La Tête d'un génie

Masha Gessen, Éditions Globe, 320 p., 18,50 € (parution le 10 octobre)

Le Russe Grigori Perelman est sans doute le mathématicien le plus curieux du moment : sa démonstration de la conjecture de Poincaré lui a valu la médaille Fields et le prix d'un million de dollars de l'Institut Clay, qu'il a refusé. Depuis, isolé dans son appartement de Saint-Pétersbourg, il ne répond à personne. Masha Gessen, journaliste née à Moscou, a tenté de reconstruire l'itinéraire de ce génie... sans jamais le rencontrer mais à partir du milieu très particulier dans lequel il a grandi. Elle raconte l'époque d'excellence de l'école mathématique soviétique. Celle que Staline a d'abord dénigrée — elle ne pouvait contribuer à la propagande — avant de la réhabiliter lorsqu'il a fallu transformer en hâte des avions civils en bombardiers au moment de l'offensive éclair allemande en 1941. Masha Gessen nous livre là un récit historique savoureux... ■ **Azar Khalatbari**

Les Cycles du temps, une nouvelle vision de l'Univers



Roger Penrose, Odile Jacob, 264 p., 29,90 €

Lorsque sir Roger Penrose signe un nouvel ouvrage, le petit monde des amoureux de la physique est attentif. Il faut dire que le mathématicien d'Oxford est à l'origine d'un grand nombre d'idées originales en cosmologie, en mathématiques (le pavage) ou en logique (le triangle de Penrose). Cette fois-ci, il décrit une nouvelle cosmologie à laquelle il travaille depuis quelques années avec son collègue arménien Vahé Gurzadyan, baptisée cosmologie conforme cyclique (CCC), qui commence déjà à être discutée par des spécialistes. Il s'agit d'un modèle d'univers cyclique où une collision entre des singularités mathématiques comme des trous noirs est à l'origine d'un Big Bang et d'un nouvel univers qui disparaît à son tour. Les données des derniers satellites cosmologiques comporteraient des traces confortant cette toute nouvelle théorie, soutient Penrose. Pour les férus de physique. ■ **A. Kh.**

Les membres de la commission d'exploration du Mékong, sur les marches du temple d'Angkor Vat, en 1866. Cette entreprise géographique, qui sera considérée comme une des plus importantes du XIXe siècle, était dirigée par Ernest Doudart de Lagrée et Francis Garnier. Deuxième à partir de la gauche : Louis Delaporte, dessinateur et aquarelliste de l'expédition.

Itinéraire de la Commission d'exploration du Mékong en 1866. L'expédition, partie de Saigon à bord d'une canonnière, poursuivra son voyage en pirogue jusqu'en Chine.

Les moulages d'Angkor aux sources du mythe

À la fin du XIXe siècle, l'explorateur Louis Delaporte a réalisé des empreintes de plâtre des sculptures des temples d'Angkor (IXe-XVe siècles). Ces œuvres, qui ont contribué à la renommée de la cité asiatique, sont à nouveau exposées après restauration.

Par Bernadette Arnaud

DANSEUSES APSARAS ONDULANT SUR LES FRONTONS DES TEMPLES, spectaculaire tour à visages du Bayon d'Angkor Thom, nymphes célestes tenant à la main une fleur, bouddhas au sourire énigmatique... *« Cela faisait plus de quatre-vingts ans que les statues et moulages rapportés d'Angkor par Louis Delaporte (1842-1925) n'avaient pas été présentés au public »*, rappelle Pierre Baptiste, le commissaire de l'exposition « Angkor, naissance d'un mythe », qui s'ouvre au musée Guimet, à Paris, le 16 octobre. Oubliés pendant des décennies dans les sous-sols du palais de Tokyo, dans le XVIe arrondissement de Paris, ces remarquables moulages de plâtre ont fini par rejoindre en 1973 les combles de l'abbaye de Saint-Riquier, dans la Somme. Ce n'est que très récemment qu'ils sont revenus dans les collections du musée parisien, après avoir été restaurés. Ils font aujourd'hui figures de témoins uniques des monuments de la mythique cité asiatique, tels qu'on pouvait les admirer il y a plus de cent trente ans. Aussi beaux que des originaux.

Présentés au public pour la première fois à Paris lors de l'Exposition universelle de 1878, ces sculptures et bas-reliefs moulés entre les années 1870 et la fin des années 1920 sont à l'origine de l'immense retentissement que connut en Occident, à partir de la fin du XIXe siècle, la découverte

THIERRY OLLIVIER RMN

Apsaras dansant. Moulage d'un fronton du temple du Bayon, effectué par Louis Delaporte. La prise d'empreinte permettait d'obtenir un moulage en creux dans lequel était coulé du plâtre, pour obtenir en positif une reproduction exacte de l'original.

THIERRY OLLIVIER / GRAND PALAIS / RMN

« Rama tuant Marica », bas-relief d'Angkor Vat : ce moulage fait partie des 624 pièces transportées en fragments depuis le Cambodge entre 1873 et la fin des années 1920, avant d'être remontées en atelier à Paris.

TECHNOLOGIE

Le « Çiva dansant » reconstitué en 3D

Cette colossale statue provient de Koh Ker, capitale éphémère du royaume khmer.

ERIC BOURDONNEAU / ÉFEO

Haut de quatre mètres, le dieu du sanctuaire royal a été recréé virtuellement.

Un temple-montagne du XI[e] siècle du site de Koh Ker (province de Preah Vihear) reprend vie grâce à une restitution virtuelle effectuée par Éric Bourdonneau, de l'École française d'Extrême-Orient (ÉFEO), et ses collègues de l'université de Heidelberg (Allemagne). À 80 km au nord-est d'Angkor, cette capitale éphémère fondée au X[e] siècle, abritait un colossal « Çiva dansant » haut de quatre mètres. Sur les cinq visages et dix bras que possédait à l'origine le dieu de ce sanctuaire royal, deux faces et six mains ont été conservées au Musée national de Phnom Penh. Elles seront présentées lors de l'exposition d'octobre. Divinité protectrice de la royauté khmère, Çiva, qui se manifeste ici dans sa danse guerrière, était accompagné de la terrible déesse Kali. Un documentaire, *Angkor redécouvert*, projeté sur Arte, le 5 octobre à 20 h 35, en marge de l'exposition parisienne devrait présenter cette restitution en 3D. Une tête du souverain Javayarman IV, retrouvée en 1873 au milieu de cette scène du Jugement des morts, a également été rapportée en France par Louis Delaporte.

d'Angkor, la légendaire cité des rois khmers. Aux Européens de l'époque, nourrie d'Égypte et de Mésopotamie, Louis Delaporte, né à Loches (Indre-et-Loire) en 1842, souhaitait montrer qu'il existait d'autres civilisations fascinantes que celles livrées par les sables du désert. Il en rapporta ces œuvres au prix de mille difficultés. La saga commence quelques années plus tôt, quand le sinologue Abel Rémusat (1788-1832) repère le mot « Angkor » dans les annales d'un voyageur chinois du XIII[e] siècle. Puis, en 1858, le naturaliste français Henri Mouhot (1826-1861) en « découvre » au Cambodge les ruines grandioses. Quant à Louis Delaporte, il ne contemple ces merveilles qu'en 1866, en tant que membre de la mission scientifique de la Commission d'exploration du Mékong conduit par Ernest Doudart de Lagrée (1823-1868) et Francis Garnier (1839-1873).

À l'époque, la France et l'Angleterre font la course aux ressources nouvelles. Les deux Français cherchent une voie navigable qui permette d'atteindre la Chine méridionale (l'empire des Qing interdisait les relations directes avec les Occidentaux, et seuls quelques ports leur étaient accessibles). Partie de Saigon, l'expédition atteint le lac Tonlé Sap et rejoint les ruines d'Angkor, où Louis Delaporte reçoit le choc esthétique de sa vie.

120 caisses de trésors s'entassent devant le Louvre

Après seize mois de « *fatigues et de souffrances inouïes* », l'aventure, qui démontre la non-navigabilité du haut Mékong, connaît un énorme succès international. Fasciné par ce qu'il a vu, Louis Delaporte décide de retourner à Angkor pour mener ses propres expéditions en 1873-1874 et 1881-1882.

« *Tous les instruments pour dégager des monuments, faire des fouilles, transporter de lourds fardeaux, estamper et mouler des inscriptions et les sculptures sont embarqués* », écrit-il. Une fois terminés, les moulages sont expédiés de Phnom Penh à Saigon avant d'être acheminés vers la France, d'abord à Toulon, puis à Paris, où les 120 caisses de trésors architecturaux resteront plus d'un mois sur les trottoirs du Louvre... Ni ce musée, ni le Palais de l'Industrie aux Champs-Élysées ne les recevront. Ils seront transférés de 1875 à 1878 à Compiègne. Surpris devant tant « d'étrangetés artistiques », certains s'interrogent avec condescendance devant des pièces venues d'aussi loin : est-ce là du « grand art » ? La reconnaissance viendra du public, pour qui ces sculptures sont une révélation. Installées au Musée indochinois du Trocadéro de 1884 à la mort de Louis Delaporte, en 1925, elles disparaîtront en 1931 en même temps que ce musée, cela jusqu'à leur récente résurrection. ■

À voir

« Angkor, naissance d'un mythe », exposition au musée Guimet, à Paris. Du 16 octobre au 9 janvier 2014.

LE + NUMÉRIQUE

Retrouvez les premières séquences du documentaire *Angkor redécouvert* de Frédéric Wilner sur **sciencesetavenir.fr**

BERNADETTE ARNAUD

Partie supérieure du moulage de la tour à visages du temple du Bayon en cours de restauration à Montargis (Loiret), en mars.

Détail d'une statue (bodhisattva Lokesvara) provenant du temple de Preah Thkol (fin XII[e] siècle) rapportée en France par Louis Delaporte en 1873.

THIERRY OLLIVIER / RMN

BERNADETTE ARNAUD

La maquette du Bayon du capitaine Auguste Filoz. Réalisé au Cambodge en 1899, ce modèle en relief avait été acheté par le musée du Trocadéro et placé avec les moulages de Louis Delaporte. Après la fermeture du musée en 1931, ce modèle réduit, restauré depuis pour les besoins de l'exposition, avait été déposé à la mairie de Loches (Indre-et-Loire).

Louis Delaporte avait été intégré à la mission d'exploration du Mékong au vu de ses qualités de dessinateur. Achevée en 1890, cette aquarelle sur vélin représente une des portes d'enceinte de la cité d'Angkor Thom.

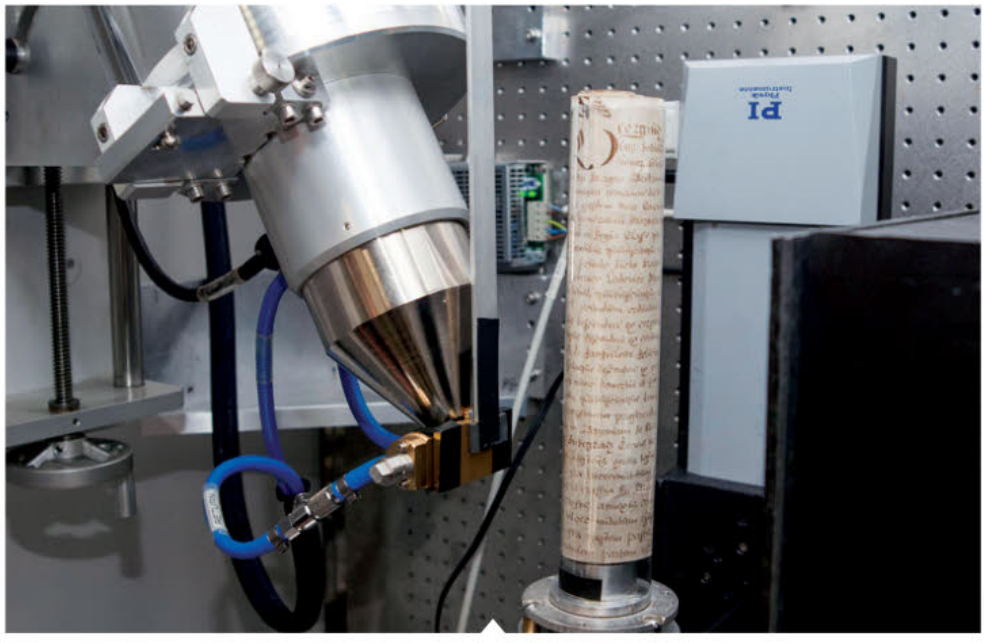
THIERRY OLLIVIER / RMN

La machine à décrypter les rouleaux de parchemins

Lire des textes anciens sans les dérouler ? C'est possible, grâce à une technique britannique qui détecte le fer contenu dans l'encre et reconstitue le texte en image numérique.

Révéler l'illisible. Tel est le pari d'une équipe britannique dont le projet, baptisé Apocalypto — du grec *apokálupsis*, signifiant « dévoilement » —, vient de passer un premier test avec succès : les chercheurs ont réussi à recréer et dérouler virtuellement un parchemin du XIXe siècle. Ils sont parvenus à en lire le contenu sans avoir à le toucher. De quoi faire naître des espoirs pour les archivistes, conservateurs et historiens du monde entier. Car nombre de textes anciens sont trop fragiles pour être manipulés ou exposés directement à la lumière.

L'innovation repose sur la microtomographie aux rayons X (ou CT-scan, de l'anglais *computed tomography*). Cette technique d'imagerie utilise la propriété des rayons X de traverser la matière, permettant ainsi la visualisation en trois dimensions de l'organisation interne d'un objet quelconque de façon non invasive. Concrètement, des radiographies numériques du parchemin sont enregistrées en continu et en rotation sur 360°. Ce faisant, c'est la variation d'atténuation des rayons X à travers le rouleau qui permet de distinguer nettement l'encre présente sur le support. Le document est ensuite reconstitué virtuellement, toujours roulé, à haute résolution et en 3D, puis ramené à deux dimensions — comme s'il était déroulé. Il ne reste plus qu'à projeter les données numériques correspondant aux zones encrées pour avoir, à l'écran et de façon parfaitement lisible, le texte jusque-là caché.



EPSRC

Le rouleau se déplace en arc de cercle devant la source de rayons X.

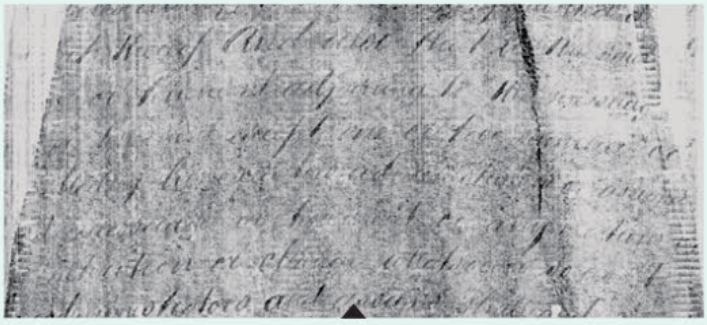
Il a fallu six années de développement et 1,5 million d'euros versés par l'EPSRC, le Conseil britannique de recherche en ingénierie et sciences physiques, pour mettre au point la technique sous la direction de Graham Davis, de l'École de médecine et d'odontologie de l'université Queen Mary de Londres. Les défis ont été nombreux : « *Comme la photographie numérique, la microtomographie souffre de ce que l'on nomme le "bruit", des nuisances provenant du champ de rayons X lui-même ou des détecteurs qui les convertissent en lumière visible. Plus on augmente le temps d'exposition, plus on améliore la résolution, mais plus le bruit vient contrebalancer les gains* », explique-t-il. De même, il a fallu prendre en compte les surfaces qui se touchent dans le rouleau.

L'innovation est théoriquement prometteuse. À condition que les documents soient écrits avec la « bonne encre ». « *Il existe deux sortes principales d'encres depuis l'Antiquité : celles au carbone, qui sont faites de noir de fumée mélangé à de la gomme arabique, et les métalliques. La nouvelle technique concerne uniquement ces dernières* », explique Marc Smith, qui enseigne la paléographie à l'École nationale des chartes, à Paris. Ces encres, qui contiennent des sels métalliques (sulfate de fer ou de

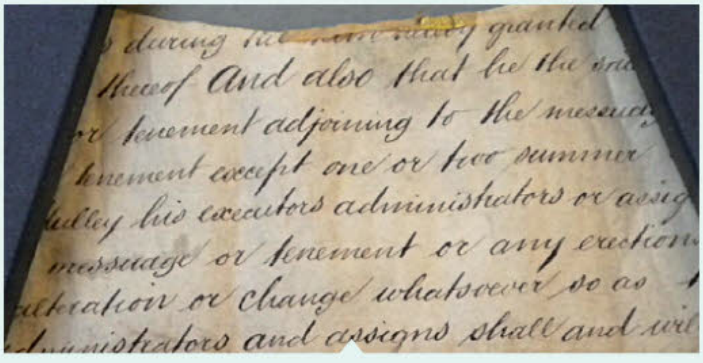
Les rayons X révèlent le contenu sans dommages

Une expérience a testé sur un parchemin du XIXe siècle sans valeur la qualité du déchiffrage réalisé avec la radiographie numérique.

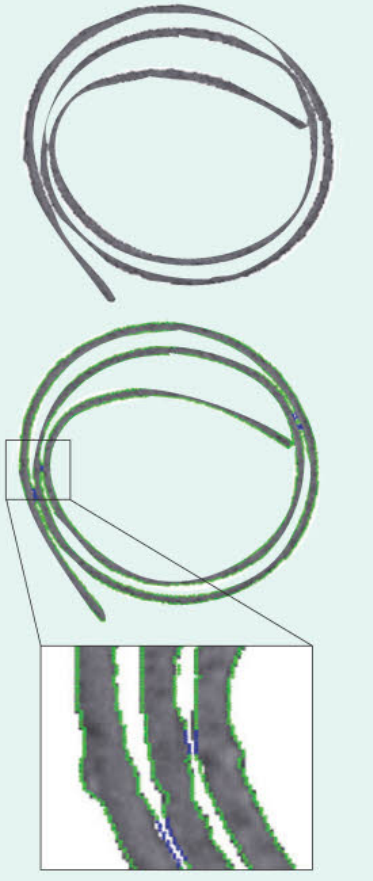
Le mauvais état du parchemin, prêté par les archives du comté de Norfolk (Grande-Bretagne), le rendait difficile à dérouler.



La cartographie est d'abord réalisée en 3D puis ramenée à deux dimensions, comme si le parchemin était déroulé. L'opération prend un jour et demi.



Le document original est alors humidifié pour pouvoir être déroulé. Le texte réel, jusque-là caché, peut être comparé au texte virtuel recréé grâce aux rayons X.



Sur ce parchemin vu du dessus, on voit les points de contact du document. Un logiciel permet de distinguer les différentes couches sur lesquelles est tracé le texte.

EPSRC

cuivre) ajoutés à de la matière tannique, font en effet obstacle aux rayons X et permettent de produire un contraste par rapport à la matière « molle » du support, telle que le parchemin.

Les textes écrits avec de l'encre métallique abondent. « *Cette préparation existe depuis l'Antiquité, et elle est dominante à l'époque médiévale, surtout après l'an mille,* souligne Marc Smith. *Pour les textes plus anciens, les encres métalliques et les encres au carbone coexistent : en Égypte, par exemple, l'encre métallique est spécifique aux papyrus grecs, les papyrus égyptiens étant rédigés avec de l'encre carbonée.* »

Les documents conservés sous forme de rouleau sont eux aussi nombreux. En effet, le codex, l'ancêtre de notre livre, inventé dès le Ier siècle, n'a pas supplanté totalement le rouleau, qui a persisté longtemps au Moyen Âge. Pour les spécialistes, le parchemin, le plus solide de tous les matériaux d'écriture, n'est pas forcément le support sur lequel appliquer en priorité le procédé de l'équipe d'Apocalypto. Car cette peau animale est un matériau « vivant » extrêmement sensible aux variations hygrométriques. Elle peut durcir, se rétracter, et gauchir de façon importante, posant des problèmes de déroulement et de lecture. Mais aussi, pour les mêmes raisons, être restaurée plus facilement que d'autres supports, et ce grâce à différentes méthodes d'humidification.

6 ans

C'est le temps qu'il aura fallu à l'équipe de Graham Davis pour mettre au point la technique.

Pour Marc Smith, le procédé d'Apocalypto concernerait donc les spécimens les plus endommagés : « *On peut avoir des documents très abîmés, mais en général, il s'agit plutôt d'un problème visuel de contraste entre l'encre et le fond. Pour ne pas pouvoir dérouler un parchemin, il faut vraiment qu'il ait souffert...* » Ou bien des cas bien particuliers, comme la lecture de documents scellés dont on voudrait préserver les cachets, ou des documents archéologiques, fragilisés par leur long séjour dans le sol. Elle pourrait aussi se révéler précieuse pour les papyrus, supports fragiles, car d'origine végétale, qui posent d'épineux problèmes de mise à plat... ■

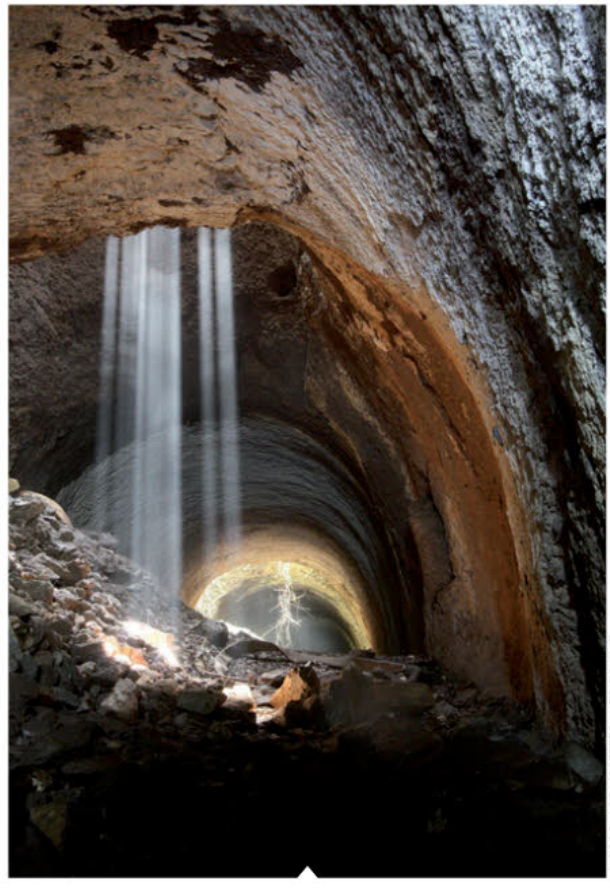
Laurent Brasier

Des tunnels pour esclaves sous la villa d'Hadrien

Un vaste réseau de galeries servant à la circulation des esclaves a été découvert sous le domaine de l'empereur romain à Tivoli, près de Rome.

Le réseau est tentaculaire... Plus de 700 mètres de tunnels insoupçonnés viennent d'être découverts par des spéléologues sous la célèbre demeure de l'empereur Hadrien (76-138) à Tivoli, à 30 kilomètres à l'est de Rome. Ces artères profondément enterrées, dont certaines sont larges de 2,40 à 5 mètres, ont été creusées sous les 120 hectares de l'immense domaine impérial. Elles auraient servi à faire circuler dans les deux sens des charrettes et chariots tirés par des bœufs pour acheminer des vivres et autres marchandises et, plus étonnant, à abriter le va-et-vient continu des esclaves. Car dans cette majestueuse villa, composée de plus d'une trentaine d'édifices bâtis au IIe siècle de notre ère (palais, thermes, théâtres, bassins, grottes artificielles, fontaines), des milliers d'hommes et de femmes asservis couraient d'un édifice à l'autre pour accomplir leurs tâches... le tout hors de la vue de l'empereur.

Les archéologues connaissaient déjà l'existence d'une partie de ce réseau, au même titre que ceux situés sous les thermes de Caracalla (188-217), à Rome. À Tivoli, dès la fin du XIXe siècle, d'étroites galeries de circulation enfouies avaient déjà été révélées. Mais personne n'imaginait des circuits de transport aussi vastes sous la villa d'Hadrien. C'est en franchissant des sections de conduits bloqués par des ronces et des débris rocheux accumulés depuis des siècles, et après avoir envoyé un petit robot équipé d'une caméra dans l'une des fissures, que Marco Placidi, le responsable du Centre de recherches archéologiques et spéléologiques de Rome, a mis au jour ces vestiges. Il n'est pas à exclure que d'autres tunnels soient découverts.



MARCO PLACIDI / SOTTERRANEIDIROMA.IT

Dans ces souterrains, parfois larges de 5 mètres, des chariots tirés par des bœufs pouvaient circuler dans les deux sens.

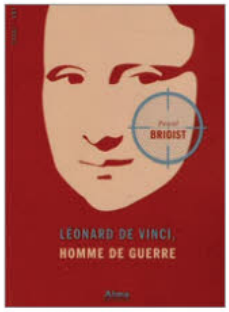
L'empereur Hadrien, homme de guerre et philosophe, s'était retiré dans sa monumentale villa de Tivoli après la disparition de son amant Antinoüs, retrouvé noyé dans le Nil, en Égypte. Il y résidait avec sa garde prétorienne, de nombreux fonctionnaires, mais aussi des milliers de serviteurs, l'empereur étant alors le plus grand propriétaire d'esclaves de l'empire. Rappelons qu'à certaines époques, les esclaves d'État (*servi publici*) ou de particuliers (*servi privati*) ont pu représenter les deux tiers de la population de Rome.

Le labyrinthe pourrait être ouvert au public

Les historiens connaissaient Hadrien pour avoir « adouci » la situation des esclaves, ôtant à leur maître tout droit de mort sur eux et supprimant les prisons qui leur étaient destinées. On savait moins qu'il les condamnait dans sa propre demeure à ces errements troglodytes... À la fin de l'empire, la villa fut progressivement abandonnée, pillée lors des invasions barbares, avant de tomber dans l'oubli. Des visites publiques des nouveaux labyrinthes retrouvés en très bon état de conservation pourraient être autorisées dès cet automne, selon Benedetta Adembri, directrice de la villa inscrite au Patrimoine mondial depuis 1999. ■

Bernadette Arnaud

Léonard de Vinci, homme de guerre



Pascal Brioist,
Alma, 359 p., 24 €

Léonard de Vinci qualifiait la guerre de *« pazzia bestiallissima »*, de folie bestiale. Pour autant, l'auteur de la *Cène* et de la *Joconde* *« a consacré des milliers de pages à décrire complaisamment des armes, des fortifications et des scènes de bataille »*, rappelle dans ce livre Pascal Brioist, à qui l'on doit la conception scientifique du parc du Clos-Lucé à Amboise. C'est dire s'il connaît bien le génie des arts, qui fut tout autant ingénieur que militaire. Si Léonard dénonce l'atrocité des combats, le Toscan montre aussi sa fascination pour la « mécanique guerrière » : char à faux, orgues d'artillerie, rien n'est trop cruel pour détruire, dès lors qu'il s'agit pour lui d'écraser un tyran (avec ce paradoxe de parfois s'engager auprès d'un de ces seigneurs). À travers ce portrait réalisé à partir de sources peu étudiées, transparaît un Léonard différent de l'artiste légendaire. Un personnage qui aura en fait consacré la plupart de son temps à la guerre plutôt qu'à la peinture. ■ **Bernadette Arnaud**

Les Pieds bandés

LiKunwu, Éditions Kana,
128 p., 15 €

Cet album retrace l'histoire d'une jeune fille du début du XX^e siècle, autant que la fin d'une tradition chinoise inhumaine : celle des pieds bandés, les « lotus d'or ». Mutilante, terriblement douloureuse, cette pratique a touché des millions de femmes. Dès l'âge de 5 ans, comprimés par un jeu de bandelettes régulièrement resserrées, les orteils — à l'exception du gros — étaient repliés contre la plante des pieds. Adultes, les pieds ne devaient pas excéder 8 cm. Ne pouvant plus courir, une femme aux pieds bandés *« chancelait comme le saule »*. Associés à des critères érotiques autant qu'à l'assurance d'une haute considération sociale, pour les parents chinois, les « pétales de lotus » étaient la garantie d'un impact positif sur la vie de leur fille. Abolie par Sun Yat-sen dès 1912, cette coutume sera totalement interdite en 1949. D'honorées, les femmes aux pieds bandés seront traitées en parias sous le communisme. En 2002, une centaine de ces vieilles dames vivaient encore au Yunnan. ■ **B. A.**

L'ÉCONOMIE TEMPLIÈRE EN OCCIDENT

Sous la direction de Ghislain Brunel,
Éditions Guéniot, 538 p., 29 €

Dans cet ouvrage destiné à un public motivé sont rassemblés les actes du dernier Colloque international de l'abbaye de Clairvaux. Dix-huit contributions (dont cinq en anglais) décryptent les modes de fonctionnement socio-économique (patrimoine, commerce, finance) de l'ordre religieux militaire des Templiers, en Europe et en Orient. ■ **B. A.**

DE DARWIN À LÉVI-STRAUSS
La diversité en danger

Pascal Picq, Odile Jacob, 22,90€

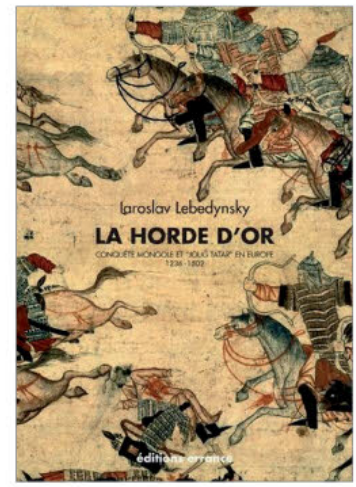
Pascal Picq, préhistorien au Collège de France, convoque ici Charles Darwin, père de la théorie de l'évolution, et Claude Lévi-Strauss, anthropologue, pour plaider en faveur de la biodiversité mais aussi la diversité culturelle. Un appel vibrant à une prise de conscience, alors qu'écosystèmes et langues disparaissent drastiquement. Et qu'au final, l'espèce humaine est menacée. ■ **R. M.**

DVD

LE DESSOUS DES CARTES - L'INTÉGRALE

Arte Éditions, 79,99 € (sortie 16 octobre)

Géographie, géopolitique, les éditions Arte présentent, sous la forme d'un coffret composé de 16 DVD, l'intégrale de la célèbre émission créée et présentée par Jean-Christophe Victor, l'homme qui fait « parler » les cartes. ■ **B. A.**



Iaroslav Lebedynsky,
Éditions Errance/Actes Sud, 171 p., 28 €

La Horde d'Or
Conquête mongole et « Joug Tatar » en Europe (1236-1502)

Héritiers de l'immense empire mongol de Gengis Khan, la « Horde d'Or » — une mosaïque de peuples et de langues — fut, au XIII^e siècle, un des quatre « khanats » (royaumes) issus de sa désintégration. Dirigée par la branche aînée de la dynastie mongole, la Horde d'Or domina pendant plus de deux siècles l'Europe orientale, l'actuel Kazakhstan, et la Sibérie méridionale. C'est sous la domination de cet empire tatar d'Europe (en Occident, un « r » parasite transforma ensuite les Tatars en « Tartares ») qu'est née la puissance moscovite, noyau de la Russie moderne. Une épopée mal connue que nous raconte, dans cet ouvrage destiné à un public averti, Iaroslav Lebedynsky, un des rares spécialistes en France de la steppe et du Caucase. Enseignant à l'Institut national des langues et civilisations orientales (Inalco) de Paris, il contribue depuis plusieurs années à nous faire découvrir les peuples nomades d'Eurasie. Abondamment illustré, ce livre conçu en deux parties présente l'histoire de cet empire jusqu'à son déclin, à travers ses structures sociales et politiques, ainsi que son héritage. Une attention particulière est portée sur les aspects guerriers aux origines de sa puissance. ■ **B. A.**

Les énergies marines ont le vent en poupe

Hélices hydroliennes, éoliennes flottantes, mouvement de la houle, échanges thermiques de l'eau... Le littoral de la France recèle des richesses énergétiques prometteuses. L'exploitation industrielle démarre cette année.

Par Loïc Chauveau

Vive les vents, vagues, marées et courants... En cette année 2013, sur les mers et les océans, leur exploitation débute vraiment pour produire de l'électricité. Au niveau mondial, le potentiel est estimé à plus de 334 000 mégawatts en 2050 (15 à 20 % de la demande en électricité), par l'organisation Ocean Energy Systems. Mais toutes les techniques d'exploitation n'en sont pas au même stade. Celle des *« vagues en est encore expérimentale*, précise Marc Le Boulluec, en charge du dossier à l'Ifremer. *Par contre, celle des courants par les hydroliennes est mature et celle de l'éolien flottant suivra très vite.* »

Les courants représentent un potentiel de 6000 MW

Quatre courants exploitables font la chance de la France : le raz Blanchard et le raz de Barfleur dans le Cotentin ; le Fromveur entre les îles d'Ouessant et de Molène ; enfin Paimpol-Bréhat, en Bretagne Nord — le moins puissant. *« Le potentiel électrique exploitable global en hydrolien représente plus de 6000 MW en France, en se restreignant aux sites où le courant de marée maximal dépasse 3 m/s »*, estime le rapport sur les énergies marines remis au ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie en mars.

DOMINIQUE LEROUX / SIGNATURES

L'hydrolienne de Paimpol-Bréhat a été testée par EDF dès 2011.

Trois technologies vont être testées : rotor, grande hélice et tuyères. Sur le Fromveur, l'hydrolienne Sabella, développée par une PME de Quimper, fait le pari de la robustesse. Pour éviter les engrenages fragiles et donc les pannes, la génératrice est à entraînement direct et le rotor est activé à faible vitesse (10 tours par minute). À Paimpol-Bréhat, EDF et Open Hydro, une start-up irlandaise récemment acquise par le constructeur naval DCNS, testent ce qui se présente comme une tuyère de réacteur, le générateur se trouvant dans la coque entourant les pales. Le raz Blanchard et le raz de Barfleur sont convoités par le constructeur danois Voith et GDF-Suez. La turbine de 1 MW se présente comme un gigantesque moteur à hélice posé sur un pieu.

11

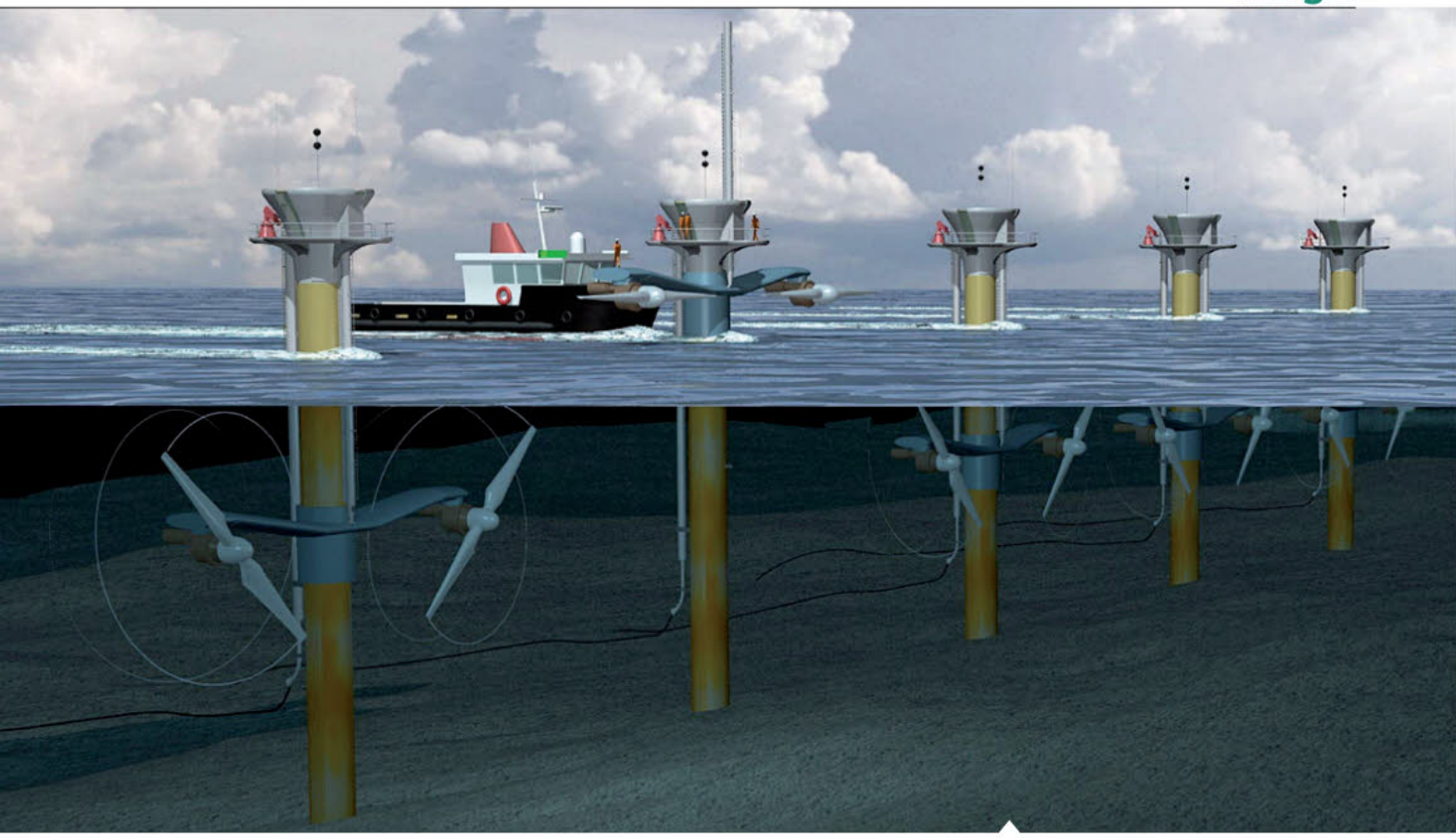
millions de km²

C'est la surface du domaine maritime français en métropole et outre-mer, le deuxième au monde, derrière les États-Unis. Toutes les technologies marines peuvent y être développées.

La France, bien sûr, n'a pas le monopole de ces nouvelles technologies d'exploitations des courants marins. Au Royaume-Uni, Marine Current Turbines, racheté par Siemens, teste SeaGen depuis 2008 en Irlande du Nord. L'idée, cette fois, est d'installer deux rotors de 20 mètres de diamètre sur une sorte d'aile coulissant le long d'une tour cylindrique sortant de l'eau. Avantage : la facilité à remonter les rotors à la surface pour les réparer. Deux premières « fermes » de SeaGen de 10 MW sont en construction à Anglesey Skerries (pays de Galles) et Kyle Rhea (Écosse). Toujours en Écosse, Alstom développe un autre procédé : une nacelle longue de 22 mètres, posée sur des fondations, peut orienter ses trois pales de 18 mètres dans un angle optimal, face au courant de la marée.

Des éoliennes flottantes ancrées par 200 m de fond

Après les hydroliennes, voici venir l'éolien... flottant. Au-delà de 50 mètres de profondeur, il n'est plus possible de poser une éolienne offshore sur le fond. La solution « flottante » peut aller, elle, jusqu'à 200 mètres, profondeur au-delà de laquelle l'ancrage au sol n'est plus possible. Il n'existe aujourd'hui que deux prototypes en activité. En Norvège, Hywind, la plus ancienne,



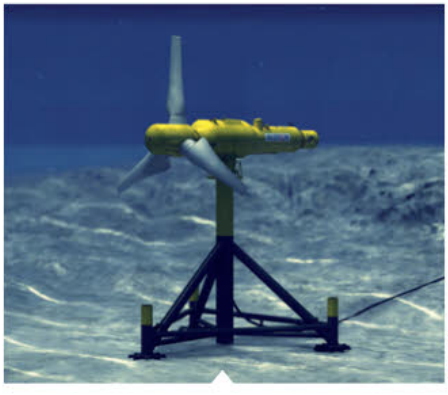
Les hydroliennes

Plongés dans des courants violents et des eaux corrosives, ces dispositifs doivent assumer un compromis entre rendement électrique et solidité. En cas de panne, les coûts de réparation sont en effet très importants. Voici les solutions développées par des PME aujourd'hui presque toutes rachetées par de grands groupes.

SeaGen

Constructeur MCT/Siemens
Encombrement Hauteur de mât dépendant du site, diamètre du rotor 20 m
Puissance 2 MW
Installation Fixée au sol
Profondeur Jusqu'à 50 m

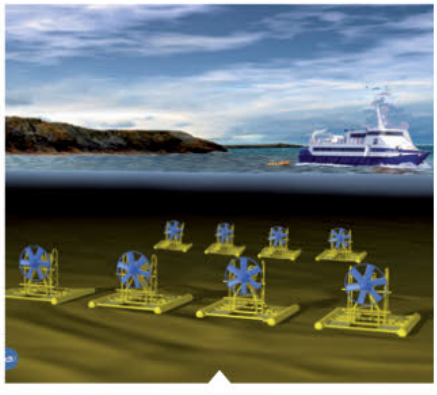
MARINE CURRENT TURBINES



ALSTOM

Alstom

Constructeur Alstom
Encombrement Nacelle de 22 m, diamètre du rotor : 18 m
Puissance 1 MW
Installation Posée sur fondation préinstallée en mer
Profondeur Jusqu'à 50 m



SABELLA SAS

Sabella D10

Constructeur : Sabella
Encombrement Diamètre du rotor du pilote industriel 10 m
Puissance Jusqu'à 1 MW
Installation Posée au sol
Profondeur 50 m

EDF

EDF

Constructeur Open Hydro/DCNS
Encombrement Diamètre du rotor : 16 m
Puissance 0,5 MW
Installation Posée au sol
Profondeur 50 m

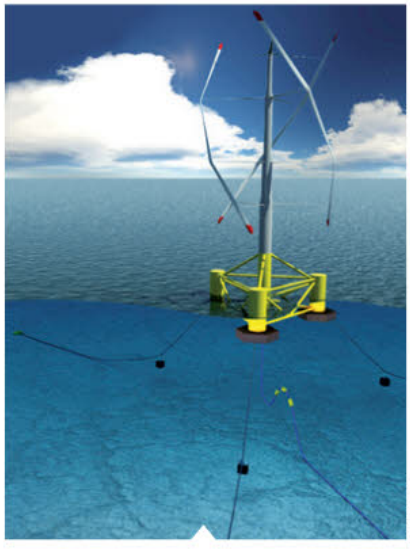
Les éoliennes flottantes

Posées sur des barges, lestées de ballasts ou tournant autour d'un mât, elle vont chercher plus loin en mer des vents plus puissants et plus réguliers, assurant ainsi des durées de production plus importantes.

DCNS

WindFlo

Constructeur Nass&Wind/DCNS
Encombrement Environ 150 m de hauteur de mât
Puissance Jusqu'à 6 MW
Installation Plate-forme semi-submersible
Profondeu À partir de 50 m, jusqu'à 200 m


NENUPHAR

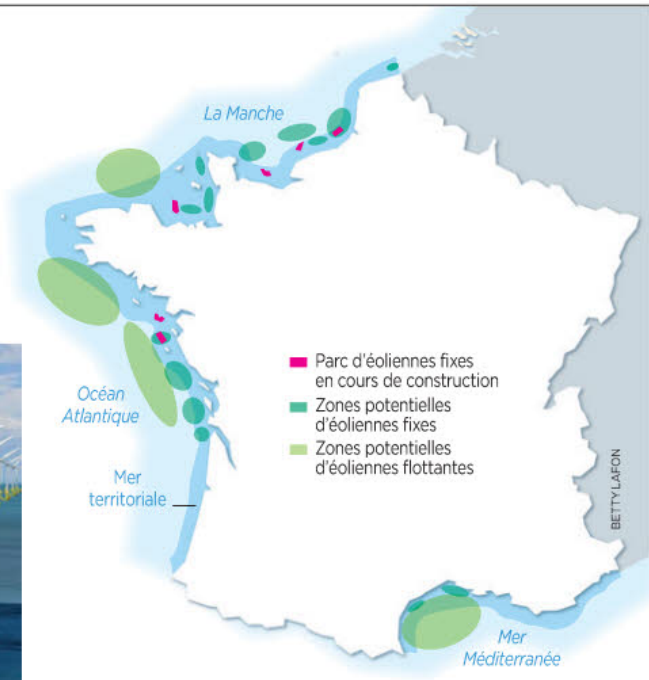
VertiWind

Constructeur Nenuphar
Encombrement 100 m de haut
Puissance 2 MW
Installation Structure flottante
Profondeur À partir de 50 m, jusqu'à 200 m

STATOIL

Hywind

Constructeur Statoil
Encombrement 65 m émergée, 100 m immergée ; diamètre du tube : 8,3 m
Puissance 2,3 MW
Installation Ballast immergé
Profondeur 200 m



Potentiel éolien en mer. Les installations flottantes exploitent des zones océanes éloignées des côtes et donc sans gêne visuelle, contrairement aux dispositifs fixes.

testée depuis 2009, a déjà produit 10 MWh d'électricité. Sa turbine d'une puissance de 2,3 MW est accrochée sur un cylindre d'acier de 8,3 mètres de diamètre, lesté de 100 mètres de ballasts immergés. Au Portugal, Windfloat teste le schéma technique le plus souvent retenu : une barge sur laquelle repose une éolienne classique. En France, deux schémas préindustriels reprennent cette idée, en Bretagne et en Méditerranée. WindFlo développe un flotteur de type semi-submersible supportant une éolienne légère à trois pales. À La Ciotat, Ideol utilise une barge en béton empruntée à l'industrie pétrolière. *« Notre projet est de construire une structure capable de supporter une éolienne de forte puissance, ce qui permettra de développer à de plus grandes profondeurs les parcs offshore fixés au sol »*, précise Paul de la Guérivière, directeur exécutif d'Ideol.

C'est une voie opposée que suivent la société Nenuphar et son directeur Charles Smadja, pour qui *« la mer est un milieu particulier pour lequel il faut construire du*

CENTRALES HOULOMOTRICES

Hydroélectricité, la nouvelle vague

Au large du Croisic (Loire-Atlantique), à partir de 2014, la houle sera l'objet de toutes les attentions. C'est sur une zone de 1 km² gérée par l'École centrale de Nantes que seront testées les machines exploitant les mouvements ondulatoires à la surface de l'eau. Pas moins de 150 prototypes ont déjà été répertoriés sur la planète, car les vagues font rêver. Présentes partout dans les océans, au contraire des courants, leur potentiel énergétique mondial est de 8000 millions de MWh par an. Dont 40 000 pour la France, soit 7 % de la consommation de 2012 (540 000 MWh). Avec cinq ans d'expérience au large du Portugal et de l'Écosse, le serpent Pelamis est le projet le plus ancien. Ce tube d'acier articulé de 140 m de long est un flotteur dans lequel une turbine à air est actionnée par la houle. Un pilote industriel sera installé à La Réunion. L'île testera également Ceto. Ce dispositif comprend des flotteurs qui, agités par la houle, agissent sur un piston vertical dont le mouvement est converti en électricité. Le groupe DCNS développe enfin le Waveroller, où des panneaux articulés posés sur le fond marin oscillent et compriment de l'eau ensuite envoyée à terre pour alimenter des turbines. Une ferme d'essai sera testée dès 2015 au large de l'île de Groix, en Bretagne.

PELAMIS WAVE POWER LTD

Pelamis est le plus ancien prototype houlomoteur, testé pour la première fois en 2008 au Portugal.

matériel spécifique ». VertiWind est donc une éolienne verticale avec des bras qui tournent autour d'un mât central. Avantage : elle fonctionne quel que soit le sens du vent. Un prototype de 12 mètres est construction à Fos-sur-Mer. La VertiWind industrielle de 2 MW fera, elle, 100 mètres de haut pour 50 mètres de diamètre.

Une course de vitesse est engagée entre tous ces concurrents. Enjeu : prouver très vite aux investisseurs la viabilité de ces techniques. « *Pour être le premier à démontrer qu'un parc commercial est viable, il faudra mettre à l'eau un démonstrateur industriel en 2016 pour une première réalisation avant 2020* », affirme Michel Ollier, coordinateur de ces projets pour le pôle de compétitivité mer Méditerranée où l'on compte bien exploiter la force du mistral.

En toute discrétion, l'Ifremer s'attaque actuellement à une vraie difficulté : la résistance des câbles qui vont ancrer les éoliennes flottantes au plancher sous-marin. Fortes tensions, sel très corrosif : l'environnement est rude. « *Pour répondre à ces contraintes, les matériaux synthétiques comme le polyester ou le Nylon nous paraissent de bons candidats* », assure Marc Le Boulluec.

Des usines pompent les eaux froides des fonds

Après la force du vent ou celle des courants marins, une autre technique — inventée par le Français Georges Claude, en 1928 — refait surface : l'énergie thermique des mers. Le principe est de capter l'énergie résultant de l'échange thermique entre les eaux de surface chauffées par le soleil et les eaux froides des profondeurs. Elle est idéale pour les pays tropicaux — et singulièrement les îles — où les premières atteignent 28 °C quand les secondes sont à moins de 5 °C vers -900 mètres. Dans ce cas, les usines flottantes se composent d'un ensemble évaporateur-turbine-compresseur et de conduites et pompes d'alimentation pour récupérer et acheminer les eaux froides vers la surface. Autre solution technique, celle des SWAC (SeaWater Air Cooling). Elle consiste à pomper jusqu'à une station terrestre les eaux froides pour alimenter un réseau de climatisation. Des quartiers de Saint-Denis de La Réunion et de Papeete, à Tahiti, utilisent déjà les SWAC et ils devraient se multiplier. Lockheed-Martin aux États-Unis et DCNS en France misent sur cette solution.

Si ce mode d'exploitation apparaît coûteux, les départements français d'outre-mer, engagés dans des politiques énergétiques pour ne plus dépendre du pétrole, se montrent quand même très intéressés. Ainsi, La Réunion projette de créer un démonstrateur avec DCNS, et la Martinique et la Polynésie sont aussi candidates. ■

334 000 mégawatts

Le potentiel mondial des énergies marines, soit de 15 à 20 % de la demande en électricité à l'horizon 2050

Pierre-Henri Gouyon, agronome et généticien

Le passeur de Darwin

Esprit indépendant considéré comme un pionnier, l'un des plus grands spécialistes de l'évolution dérange. Ses prises de position sur les OGM lui valent les foudres de ses pairs.

Muséum national d'histoire naturelle de Paris, dans le chantier de la Galerie de botanique, quelque part entre les laboratoires de phanérogamie et de cryptogamie. « *Qui cherchez vous ?* s'enquiert un technicien. *Pierre-Henri Gouyon ? Ah, le colosse qui roule à moto ?* » La stature généreuse de Pierre-Henri Gouyon, professeur de systématique et évolution au Muséum en impose. Quant à sa voix, elle porte bien au-delà des amphithéâtres : en conférence et commissions (OGM, éthique, créationnisme...), au tribunal (lors des procès de « faucheurs »), auprès de politiques (lors du Grenelle de l'Environnement) ou de l'inclassable Nicolas Hulot (qu'il conseille sur le plan scientifique pour sa fondation). De quoi faire grincer quelques dents.

Cet été 2013, l'actualité du chercheur est faste : le prestigieux prix Copper a couronné une étude entamée dès les années 1970, prouvant que les changements climatiques planétaires provoquaient, à l'échelle régionale de Montpellier, des modifications génétiques chez le thym. Autre bonheur, la revue *PLos One* a publié sa modélisation du diagramme de *L'Origine des espèces* de Charles Darwin. Elle éclaire un vieux paradoxe : si la reproduction sexuée — bien plus « coûteuse » sur le plan énergétique que la reproduction asexuée — reste compétitive dans le monde vivant, c'est « *grâce au brassage génétique qu'elle induit à long terme* ».

Cours à AgroTechParis, Polytechnique, Sciences po, Normale sup..., l'homme qui estime « *avoir réintroduit l'enseignement de la biologie évolutive en France après une éclipse de près de deux siècles* » est un professeur stimulant, chaleureux, hors pair. « *L'un des plus populaires avec DSK* », écrivait *Le Nouvel Observateur* en 2001 !

BRUNO CHAROY/PASCO&CO POUR SCIENCES ET AVENIR

BIO EXPRESS

1953 Naissance à Paris, le jour de Noël.
1972 Admis à l'Agro (Institut national agronomique Paris-Grignon, aujourd'hui AgroParisTech) où René Dumont sera l'un de ses professeurs.
1976-1978 Trois thèses sur les formes chimiques, la reproduction et la biologie des populations du thym à Montpellier.
1988 Responsable du Laboratoire évolution et systématique des végétaux (Orsay).
2005 Professeur au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris.
2013 Prix William Skinner Copper de l'Ecological Society of America, qui salue une contribution exceptionnelle en botanique.

Avec la sexualité du thym, il montre le conflit de gènes

De ses heures d'amphi, il sort hébété, « *ayant tout donné* ». Hommage à une poignée d'enseignants — et surtout son ancien instituteur — qui l'ont arraché à « *la flemme, l'ennui, l'insolence, le probable désastre* ». Son passage au lycée Turgot vire au cauchemar. Il se heurte au Comité d'étudiants (le lycée, dit rouge, a été occupé de mai 1968 à 1971) qui veut l'exclure pour avoir critiqué l'entrée des Soviétiques à Prague. Il bifurque ensuite, dégoûté, vers une prépa de biologie à Saint-Louis.

Une fois à l'Agro, il s'entiche de la génétique des populations à laquelle son mentor ne prédit pourtant ni avenir ni crédit. Il fera carrière et école. « *C'est un patron de labo visionnaire, capable d'engager des équipes sur des pistes fructueuses de recherche pour dix ans* », souligne Tatiana Giraud, directrice adjointe de l'UMR Écologie, Systématique, Évolution (Orsay), professeure à l'École polytechnique. Pierre-Henri Gouyon a été le premier à démontrer expérimentalement — en étudiant la sexualité du thym — qu'il existait, dans la nature « des conflits de gènes ». Mais c'est seulement après une

MORGANE LE GALL POUR SCIENCES ET AVENIR

Les idées de Charles Darwin, père de l'évolution, sont désormais largement popularisées et enseignées en France, notamment grâce à Pierre-Henri Gouyon.

conversation avec l'évolutionniste britannique John Maynard Smith que le *« petit frenchy des années 1980 »* mesure la portée de sa découverte. Il enseigne dès lors que *« les individus sont des artifices inventés par les gènes pour se reproduire »*. Ses étudiants se castagnent avec ceux de sociologie. *« À l'époque les gènes étaient de droite, l'environnement de gauche »*, soupire-t-il, renvoyant dos à dos les idéologies. Dans ses cours, *« il questionnait la pertinence, la légitimité de sa propre discipline en rappelant que la génétique avait connu des dérives, celles de l'eugénisme »*, pointe l'ancienne ministre de l'Écologie Nathalie Kosciusko-Morizet, qui fut son élève aux Eaux et Forêts. *« Il développait l'esprit critique des élèves, acceptait le doute, provoquait la contradiction »*, poursuit-elle.

À la fin des années 1980, il s'attaque à un sujet apparemment plus paisible : les OGM. Et se rend compte que les gènes des plantes génétiquement modifiées (colza, betterave) peuvent se disperser dans l'environnement. Le dialogue avec les semenciers et les entreprises de biotechnologies, qu'il rencontre régulièrement au siège de (feu) la Commission du génie biomoléculaire, tourne court et mal. Il enrage lorsque l'agriculteur canadien Percy Schmeiser perd son procès contre Monsanto. *« La contamination* [des plantes locales] *par des constructions moléculaires brevetées interdit de resemer des graines récoltées »*, s'indigne-t-il. Bref, les biotechnologies, oui, mais le brevet, non ! Pierre-Henri Gouyon, qui aspire au *« maintien de la diversité de façon durable »* est aussi devenu un défenseur du principe de précaution.

Ses engagements lui ont coûté des postes

Radicalisé ? Olivier Le Gall, directeur général délégué de l'Inra, l'Institut national de la recherche agronomique, regrette qu'il ait fait circuler une *« pétition honteuse en défense de Gilles-Éric Séralini »*, auteur d'une étude très critiquée sur la toxicité d'un maïs OGM *(lire S. et A. n° 791, janvier 2013). « Lui qui m'a enseigné la rigueur ! L'étude était mauvaise. Point. »*

Ses prises de position lui ont fait perdre un poste à la direction des sciences de la vie au CNRS et fermé la porte de l'Académie des sciences. Des chercheurs pro-OGM, des blogs « rationalistes » scientistes l'étrillent violemment. Sans qu'il dévie de sa ligne. *« Il me fait penser aux crapauds fous,* ose Nathalie Kosciusko-Morizet, *ces batraciens qui suivent une direction différente du reste du groupe lors des périodes de reproduction et risquent une fin certaine. Ce sont eux qui, explorant de nouveaux territoires, assurent parfois la survie de l'espèce. »*

Pierre-Henri Gouyon, en sauveur de l'humanité ? On imagine le rire énorme qui le secouerait à cette idée. ■ **Rachel Mulot**

« [Dans ses cours] il questionnait la pertinence, la légitimité de sa propre discipline en rappelant que la génétique avait connu des dérives, celles de l'eugénisme »

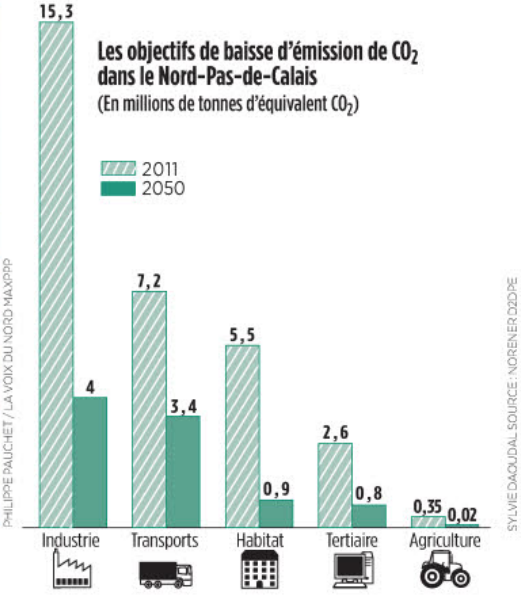
Nathalie Kosciusko-Morizet, ministre de l'Écologie de 2010 à 2012, son ancienne élève.

La 3e révolution industrielle est en marche dans le Nord

La région Nord-Pas-de-Calais a fait appel à l'expertise du très réputé économiste américain Jeremy Rifkin pour engager un processus de transition énergétique.

PHILIPPE PAUCHET / LA VOIX DU NORD MAXPPP

La chaleur dégagée par la sidérurgie de Dunkerque est récupérée et injectée dans le réseau de chauffage urbain.



SYLVIE DAOUDAL. SOURCE : NORENER DDDPE

NE PLUS RECOURIR À AUCUNE ÉNERGIE FOSSILE d'ici au milieu du siècle : l'objectif de la région de la région Nord-Pas-de-Calais est pour le moins ambitieux. Pour porter le projet, elle s'est adjoint les services d'un grand spécialiste américain de la prospective : Jeremy Rifkin. Le 25 octobre, lors de la rencontre annuelle sur l'« économie responsable » (le World Forum de Lille), il livrera son plan d'action pour ce qu'il est convenu d'appeler la « troisième révolution énergétique ». *« Avec le charbon, nous avons été les rois de la première révolution industrielle ; nous avons souffert de la deuxième qui a vu la fermeture des mines ; nous ne pouvons pas rater la troisième »*, ambitionne Philippe Vasseur, président de la chambre de commerce et d'industrie (CCI) du Nord-Pas-de-Calais, à l'origine du programme. C'est ce poids du passé qui a incité la région à faire appel à une sommité mondiale. Le choix s'est porté sur Jeremy Rifkin pour sa vision d'une économie décentralisée au service de l'homme.

SIPA

Jeremy Rifkin, 68 ans, est prospectiviste et essayiste américain. Il a écrit sur le travail, les biotechnologies, l'avènement de la société de l'hydrogène. Conseiller à la Commission européenne, il préside la Foundation on Economic Trends basée à Washington. Dernier ouvrage paru : *La Troisième Révolution industrielle*, aux Éditions Les liens qui libèrent.

L'électricité s'échangera comme de l'information

Son plan va s'appuyer sur les conclusions de huit groupes de travail régionaux qui se sont interrogés sur les énergies renouvelables et leur stockage, les réseaux intelligents de distribution de l'électricité, l'isolation des bâtiments, l'industrie du recyclage, la réduction de l'usage de la voiture et du camion et l'agriculture de proximité. *« Il y a déjà eu de très nombreuses réalisations, mais elles ne sont pas reliées à un ensemble »*, souffle Emmanuelle Latouche, directrice adjointe du Centre ressource du développement durable de la région. Ainsi, du réseau de chaleur de Dunkerque qui chauffe des quartiers avec la chaleur émise par les usines sidérurgiques, ou des éco-quartiers de la Haute-Deûle et de l'Union en banlieue de Lille, ou encore de l'usine de recyclage de textile de Loos-en-Gohelle. *« La notion de troisième révolution énergétique permet de montrer la cohérence de ces actions et donne un objectif commun »*, explique Emmanuelle Latouche. Mais cet éclectisme fait partie du futur idéal que Jeremy Rifkin veut voir émerger lors des deux prochaines générations. Pour lui, les réseaux d'information comme

Internet construisent de nouvelles solidarités qui seront renforcées par la généralisation de la production décentralisée d'électricité, où chaque ménage est à la fois consommateur et producteur : *« Demain, comme l'information, l'énergie pourra s'échanger et se partager, évitant à l'homme de sombrer dans le chaos que ne manquera pas de produire la raréfaction du pétrole, du gaz et de l'uranium »*, assure Rifkin. Il va même jusqu'à prédire la disparition des grosses centrales thermiques et nucléaires, remplacées par la diffusion sur tout le territoire du solaire, de l'éolien et de la biomasse.

Les énergies renouvelables ne pèsent que 4 %

Le Nord-Pas-de-Calais n'en est pas encore là. Sa production d'électricité provient principalement de la centrale nucléaire de Gravelines, l'une des plus importantes d'Europe avec six réacteurs de 900 mégawatts. 48 % de sa consommation d'énergie sont le fait de la sidérurgie et de la chimie à Dunkerque. La région est par ailleurs sillonnée d'autoroutes saturées en direction de Paris, de la Belgique ou du tunnel sous la Manche. Quant à la production d'énergies renouvelables, elle ne compte que pour 4 % du total (12 % en moyenne en France). De même, la région représente 8 % de la consommation nationale de pétrole alors qu'elle n'abrite que 6,6 % de la population.

La région a depuis 2010 un « plan climat » pour diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050, mais il n'est pas très avancé par rapport aux autres régions françaises. *« Nous n'allons pas changer ce paysage énergétique du jour au lendemain*, convient Philippe Vasseur. *C'est une perspective à long terme, mais dans laquelle nous nous engageons dès maintenant. »* ■ **Loïc Chauveau**

L'HOMME QUI MURMURAIT À L'OREILLE DES LIONS

Kevin Richardson avec Tony Park, Unimedica, 254 p., 19 €

« Un lion qui vous fixe ne vous lance pas nécessairement un défi », assure Kevin Richardson. Le zoologue sud-africain, devenu dresseur de félins et cinéaste célèbre (*Le Lion blanc*, 2010), livre ici un récit autobiographique. À la fois naïf et cru, il vaut notamment pour son témoignage sur l'élevage de lions — dans des conditions parfois épouvantables — et sur leur chasse en enclos. ■ **R. M.**

MONSTER CLUB

Jean-Luc Masbou et Thierry Leprévost, Delcourt, 56 p., 14,30 €

Fin XIXe siècle, deux clubs de cryptozoologie, l'un à Londres, l'autre à Baltimore, se disputent la paternité du terme « Monster Club ». Quoi de mieux pour départager des férus d'animaux inconnus de la science qu'un défi au premier qui saura en dénicher et en ramener un ? La chasse est ouverte ! Un récit trépidant et plein d'humour servi par un trait dynamique. ■ **H. R.**

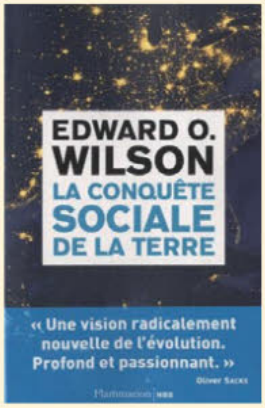
DVD

À VOL D'OISEAU

Alexandre Donders, Universal, coffret 3 DVD, 355 min, 25 € (sortie le 29 octobre)

Ébouriffant tour du monde aux côtés des condors en Amérique du Sud, des aras en forêt tropicale ou des grues alsaciennes, cette série documentaire a demandé trois ans de travail et le déploiement de moyens techniques innovants pour donner au spectateur l'illusion de se croire l'égal d'un oiseau. Ce coffret de 3 DVD réunit les six épisodes produits par la chaîne britannique BBC. ■ **H. R.**

La Conquête sociale de la Terre

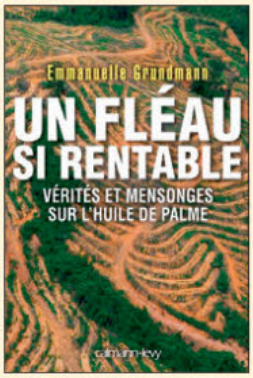


Edward Osborne Wilson, Flammarion, 376 p., 25,90 €

« Karl Marx avait raison : le socialisme marche. Il s'est juste trompé d'espèce », écrivait l'américain Edward Osborne Wilson dans *Les Fourmis* en 1990. Le père de la sociobiologie explore ici justement l'étrange parenté entre insectes sociaux — fourmis, mais aussi abeilles et termites — et humains, seules espèces sur Terre à pratiquer l'« eusocialité ». C'est-à-dire à vivre dans des groupes où s'opère une division du travail impliquant le sacrifice de l'individu au profit du groupe. De quoi expliquer guerres et agriculture. L'émergence de ce trait commun ne peut avoir été sélectionnée au niveau de l'individu, mais au niveau de groupes. L'idée est qu'un gène peut prospérer même s'il est désavantageux pour l'individu — aussi longtemps que cela donne un avantage à son groupe. Un peu trop conquérant, le groupe humain compromet *in fine* sa survie, avertit l'auteur. ■ **Rachel Mulot**

Un Fléau si rentable

Vérités et mensonges sur l'huile de palme



Emmanuelle Grundmann, Calmann-Lévy, 258 p., 16,90 €.

Deux siècles ont suffi pour que l'huile de palme envahisse notre quotidien, des savons aux agrocarburants en passant par l'essentiel des produits alimentaires industriels. Décriée parce que favorisant l'obésité, elle n'est pas plus mauvaise que d'autres huiles, montre ici la primatologue Emmanuelle Grundmann. En revanche, la culture des palmiers en Asie du Sud-Est, encouragée par de grandes banques et institutions, a accentué plutôt qu'enrayé la paupérisation et provoqué la destruction d'écosystèmes forestiers précieux. L'enquête, plus équilibrée que ne laisse penser le titre, pointe corruption et *greenwashing*. Lueur d'espoir : l'auteure discute aujourd'hui avec un consortium de six industriels qui veulent s'engager dans une production réellement durable. ■ **R. M.**

Se soigner par les ondes cérébrales

Pour traiter des troubles comme l'insomnie ou le déficit d'attention, une méthode d'entraînement cérébral appelée neurofeedback offre des perspectives prometteuses. Reportage aux Pays-Bas dans une « clinique du cerveau ».

Par Elena Sender

NIMÈGUE, PAYS-BAS. Dans un bureau, à l'étage d'une maison de briques rouges, une jeune fille est assise, deux électrodes collées au sommet du crâne reliées par des fils à un ordinateur. En face d'elle, sur l'écran, s'assemblent toutes seules les pièces d'un puzzle. C'est son cerveau qui guide le jeu : plus certaines ondes cérébrales (représentées par des barres verticales sur l'écran) augmentent, plus les pièces du puzzle se mettent en place. Est-ce un nouveau jeu vidéo piloté par la pensée ? Non. Cette patiente est en train de se soigner ! Bienvenue dans la Brainclinics qui propose des séances de *neurofeedback*. « *Le neurofeedback est un traitement qui consiste à montrer au patient la puissance de certaines de ses ondes cérébrales en temps réel. Le cerveau est encouragé ou découragé à produire ces ondes et apprend ainsi à mieux les contrôler* », explique Martijn Arns, le fondateur (en 2001) de cette « clinique du cerveau », docteur en psychologie, rattaché au département de psychologie expérimentale de l'université d'Utrecht. Des troubles comme celui du déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH), mais aussi l'épilepsie ou les anomalies du sommeil, pourraient être réduits de la sorte, sans médicament.

BRAINCLINICS

Une jeune patiente souffrant de TDAH s'entraîne à augmenter sa concentration avec le programme neuropuzzle, à la Brainclinics.

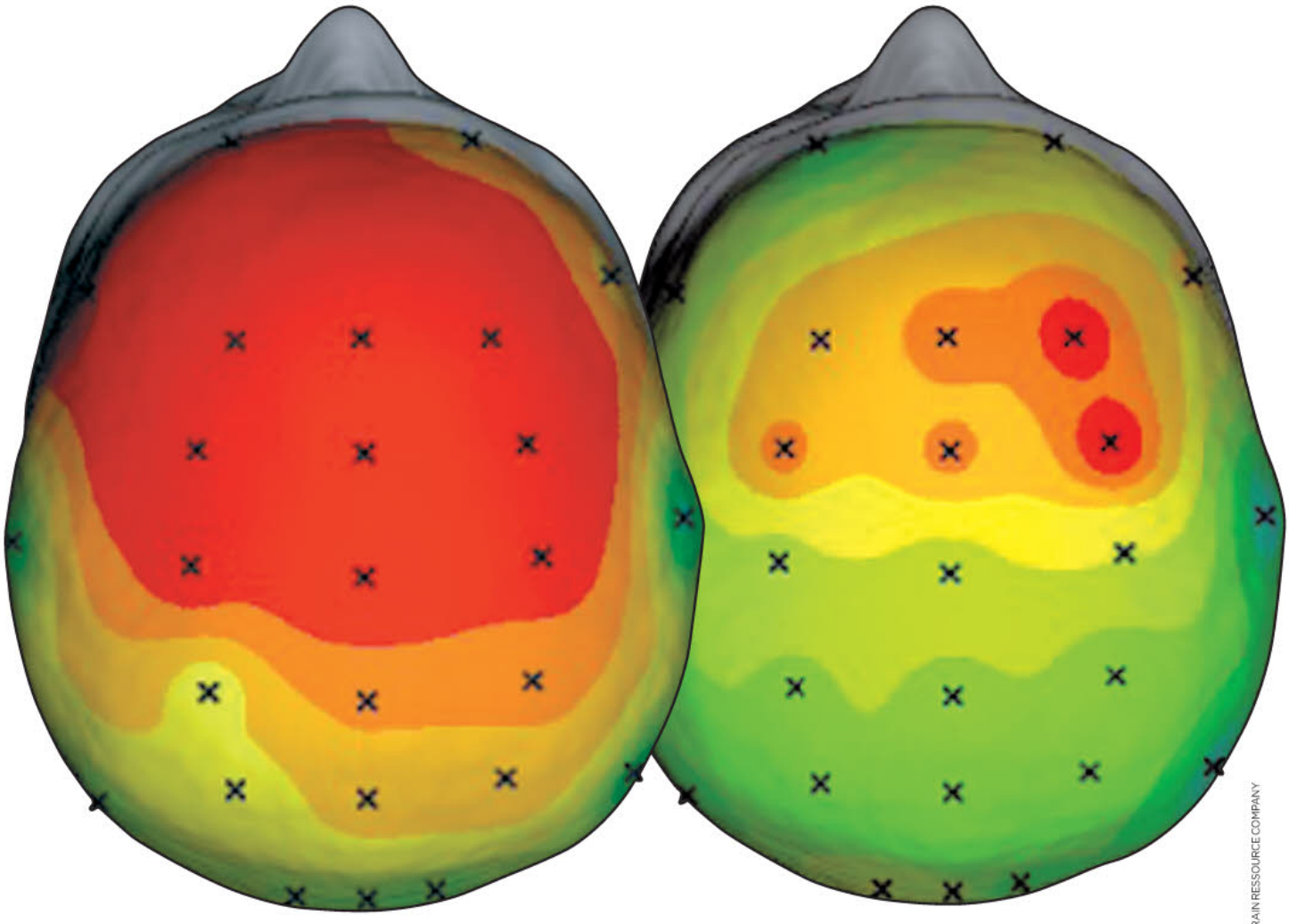
L'idée du neurofeedback n'est pas neuve. Dès 1920, le neurologue allemand Hans Berger, qui a mis au point chez l'homme l'électroencéphalogramme (EEG), l'enregistrement de l'activité électrique du cerveau par des électrodes posées sur le cuir chevelu, fait l'hypothèse de l'existence d'une relation étroite entre les variations de l'EEG et les fonctions mentales. Selon lui, des anomalies de l'EEG pouvaient permettre de caractériser des troubles psychologiques et neurologiques. Dans les années 1970, l'idée d'agir sur ces rythmes pour corriger les troubles naît aux États-Unis. En août 2013, on dénombrait plus de 1185 publications scientifiques sur le sujet et des centaines de praticiens à travers le monde.

Martijn Arns et ses trois collègues psychologues ont déjà accueilli à la Brainclinics plus d'un millier d'enfants et d'adultes qui souffrent notamment des symptômes du TDAH. La réputation de ce centre de soins et de recherche a grandi grâce à une méta-analyse, publiée en 2009, qui passait au crible 15 études portant sur 1194 patients TDAH. Martijn Arns a alors montré que le neurofeedback avait un effet important sur l'inattention et l'impulsivité (deux

ÉLECTROENCÉPHALOGRAMME (EEG)
Mesuré à l'aide d'électrodes sur le cuir chevelu, il montre l'activité électrique des cellules nerveuses du cerveau. Il enregistre les ondes cérébrales qui sont classées selon leurs bandes de fréquences.

ONDES CÉRÉBRALES
Elles représentent la vitesse des décharges neuronales selon l'état psychologique du sujet.

BANDE DE FRÉQUENCE
Nombre d'oscillations périodiques par unité de temps. Elle s'exprime en hertz.



THE BRAIN RESSOURCE COMPANY

Avant Les ondes bêta (ici à une fréquence de 21 Hz) sont trop élevées chez ce patient (zone rouge). Elles sont révélatrices d'une activité cérébrale intense, source d'insomnie ou d'hyperactivité.

Après Un traitement de 20 à 40 séances d'une heure de neurofeedback permet d'obtenir un changement durable de l'électroencéphalogramme : les ondes bêta se trouvent réduites (orange).

des composantes du trouble), et un effet modéré sur l'hyperactivité, le tout comparé à des groupes contrôles recevant ou non un traitement. La surprise est venue en particulier de la comparaison avec les médicaments. *« L'effet est similaire à celui de la médication par méthylphénidate seule* [Ritaline ou Concerta] *! »* affirme le chercheur. D'autres études ont par ailleurs montré un maintien dans le temps (sur six mois) des effets obtenus (Gevensleben, 2009, 2010). Si bien que l'American Academy of Pediatrics considère désormais comme maximal le niveau de preuve d'efficacité du neurofeedback sur le TDAH. Même si, pour optimiser son effet, il continue d'être recommandé (selon Micoulaud, 2011) de l'utiliser de manière combinée avec d'autres stratégies de soins (médicament, thérapie cognitivo-comportementale).

« Lors de la première séance, nous équipons le patient d'un casque à 26 électrodes, poursuit Martijn Arns. *Nous déterminons la puissance des rythmes EEG de son cerveau dans des bandes de fréquences correspondant à différents états mentaux.* » Venant des lobes frontaux, les signaux émis dans certaines bandes de fréquences intéressent particulièrement le spécialiste : thêta, alpha et bêta. Un autre rythme sensori-moteur (SMR), provenant du cortex moteur est également mesuré. Enfin, un protocole plus récent et précis mesure également l'amplitude d'un potentiel lent du cortex (*slow cortical potential*, SCP) *(lire l'encadré p. 69)*. Toutes ces mesures faites, le profil du patient est établi. Chez un TDAH, il se caractérise généralement par une augmentation de l'activité thêta (distraction) et une diminution de l'activité alpha et bêta (agitation, manque d'attention) dans les régions centrale et

2 %
des enfants en âge scolaire, en France, auraient un déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH), selon la classification CIM 10 de l'Organisation mondiale de la Santé.

frontale du cerveau. Les rythmes SMR et SCP ont, eux, tendance à être bas.

Aujourd'hui, à la Brainclinics, c'est le rythme SMR qui est ciblé chez une patiente TDAH par la psychologue Irene Giesbers. Électrodes sur le haut du crâne, elle amorce le programme « neuropuzzle ». Apparaissent sur l'écran une bande verticale orange (symbolisant le rythme SMR) et le puzzle éparpillé. À partir de maintenant, le cerveau de la patiente va « jouer » tout seul avec la machine. Plus la puissance de son rythme SMR augmente — synonyme de concentration —, plus la bande orange grimpe et le puzzle se complète. Le bon agencement des pièces du puzzle devient la récompense du cerveau quand il travaille bien !

76 % des patients ont vu leurs symptômes diminuer

À force d'entraînement, le cortex sensori-moteur va ainsi se conditionner à augmenter son rythme SMR. C'est ce que les scientifiques appellent un « renforcement positif », selon le concept de « conditionnement opérant » élaboré par le psychologue américain Burrhus Frederic Skinner dans les années 1950. Un processus de longue haleine. Il faut 20 séances de une heure chacune (40 au maximum) pour obtenir un changement durable de l'EEG et surtout une diminution des symptômes. « *Toutes les dix séances, nous réalisons un test comportemental*, explique Irene Giesbers, *puis, au bout de vingt, nous mesurons de nouveau l'EEG pour vérifier que les rythmes se corrigent.* » Sur le millier d'enfants et d'adultes venus à la Brainclinics, 76 % ont répondu avec succès, 14 % par un échec et 10 % ont abandonné (Arns, Drinkenburg & Kenemans, 2012).

La Brainclinics n'a pas d'équivalent en France, mais les travaux de Martijn Arns y inspirent des médecins. Le psychiatre Olivier Pallanca, spécialiste du sommeil dans le service de neurophysiologie clinique de l'hôpital la Pitié-Salpêtrière (Paris), a décidé d'importer la technique dans l'unité « sommeil » qu'il dirige depuis 2011. « *Quelques études — dont celle d'Aisha Cortoos de la Vrije Universiteit à Bruxelles en 2010 — ont montré un bénéfice du neurofeedback dans le traitement de l'insomnie*, expose Olivier Pallanca, *mais seulement sur des groupes d'une dizaine de patients. Mon objectif est de recruter près de 200 volontaires pour confirmer l'hypothèse d'un bénéfice du traitement.* »

Actuellement, le neuropsychiatre recueille les EEG de ses patients insomniaques afin d'y déceler des marqueurs de cette pathologie. Parallèlement, avec Mensia Technologies, une start-up française, il met au point une sorte d'entraînement cérébral pour apprendre au malade à réguler les « défauts » de son EEG et — en théorie — corriger ses troubles du sommeil.

Cette technique pourrait aussi « réparer » le sommeil

Que le neurofeedback améliore le sommeil ne surprend pas Martijn Arns. Courbes à l'appui, le chercheur explique que durant le stade de sommeil léger (dit stade 2), les tracés électriques du cerveau sont émaillés de petites bouffées de rythmes rapides (de 15 à 18 Hz) baptisées « fuseaux de sommeil » (*sleep spindles*), produites par le thalamus, impliqué dans le filtrage des informations sensorielles. « *Plus notre cerveau produit ces fuseaux de sommeil, plus notre sommeil résiste aux bruits extérieurs et est donc de meilleure qualité* ». Or, d'après une étude de l'université autrichienne de Salzbourg, (Hoelmozer 2008), le nombre de *sleep spindles* augmente après dix séances de neurofeedback, contrairement au groupe témoin. Ce serait donc un moyen de « réparer » le sommeil. Pour Martijn Arns, un meilleur sommeil serait même une des clés de l'amélioration du syndrome d'hyperactivité : le chercheur rappelle que de 40 à 80 % des enfants et adultes hyperactifs souffrent de troubles du sommeil et 70 à 80 % d'insomnies. Selon son hypothèse, ce serait donc par l'intermédiaire de cette régulation du circuit du sommeil que le neurofeedback traiterait le TDAH.

La technique de neurofeedback pourrait-elle soigner d'autres malades, épileptiques ou atteints de lésions cérébrales, voire de la maladie d'Alzheimer ? Les recherches se développent. À Marseille, Jean-Arthur Micou-

POLÉMIQUE

Neuroptimal, méthode contestée

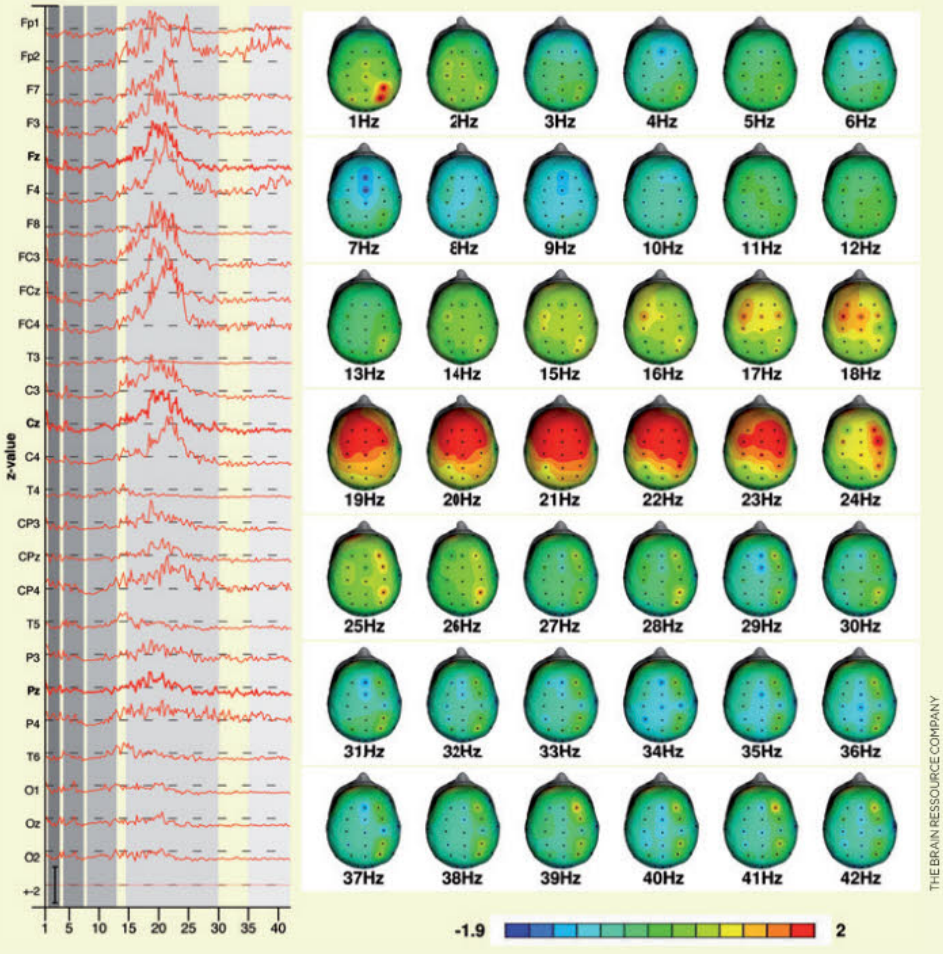
Une société canadienne, le Zengar Institute, commercialise le système Neuroptimal qui se réclame du neurofeedback et dont le fonctionnement laisse sceptique. *« L'algorithme demeure inconnu. Et la méthode est passive puisque le sujet n'a rien à faire pendant la séance, le cerveau étant censé se remodeler tout seul »*, déplore le neuropsychiatre Jean-Arthur Micoulaud-Franchi. De fait, Corinne Fournier, qui promeut la méthode Neuroptimal à Paris (60 € la séance), demande aux patients — sans mesure d'EEG préalable — *« de se relaxer, en écoutant une musique ou en regardant un film »*. Deux électrodes posées sur le crâne enregistrent l'activité du cerveau. *« Lorsque le système détecte une turbulence, il génère une interruption de la musique ou de la vidéo. Le cerveau, alerté ainsi sur son activité, se réorganise, et des changements positifs surviennent, d'ordre psychique ou physique. »* La méthode serait efficace sur un large éventail de troubles. Mais aucune étude scientifique n'a, à ce jour, validé ces observations.

BRAINCLINICS

« L'effet de ce traitement est similaire à celui des médicaments, tels que la Ritaline ou le Concerta »

Martijn Arns, psychologue (université d'Utrecht), fondateur de la Brainclinics.

L'EEG, miroir de nos états mentaux



Le cerveau émet en permanence des ondes électriques produites par les neurones. L'électroencéphalographe enregistre ces signaux à la surface du crâne et les traduits en tracés EEG dans différentes bandes de fréquences.
On distingue, entre autres, mesurées au niveau des lobes frontaux : les ondes thêta (entre 4,5 et 8 Hz) caractéristiques de certains états comme la somnolence ; les ondes alpha (8-13 Hz) dans les états de conscience apaisée, et les ondes bêta (13-30 Hz) en cas d'activité intense, de concentration et d'anxiété. Plus la puissance des ondes bêta est augmentée relativement aux thêta, plus l'individu présente un état de vigilance accru. De même, plus le ratio alpha/thêta augmente, plus le patient est dans un état de relaxation. On mesure aussi un autre rythme, au niveau du cortex moteur, cette fois, le rythme sensori-moteur SMR (12-15 Hz). Plus le SMR est élevé, plus l'individu est concentré. Enfin, les potentiels corticaux lents (*slow cortical potential*, SCP), petites variations du potentiel moyen du cortex, sont aussi intéressants.

laud-Franchi, neuropsychiatre au CHU Sainte-Marguerite, s'efforce de mieux soigner les épilepsies qui résistent aux traitements ou qu'on ne peut pas opérer. En collaboration avec le service d'épileptologie de l'hôpital de la Timone, il mène une étude sur l'utilité du neurofeedback. « *Le niveau de preuve d'efficacité est excellent*, affirme le médecin. *Le neurofeedback permettrait d'augmenter le seuil épileptogène (seuil de déclenchement des crises d'epilepsie) et ainsi de diminuer le nombre de crises. Nous cherchons maintenant quel type d'épilepsie répond le mieux.* »
À Paris, c'est le psychologue clinicien Thierry Hergueta, à l'Institut de la mémoire et de la maladie d'Alzheimer (IM2A), qui utilise depuis deux ans le principe de neurofeedback pour des malades atteints de lésions cérébrales fronto-temporales. Il a opté, lui, pour une méthode canadienne, où le patient n'a qu'à écouter de la musique, électrodes sur la tête. Une méthode passive controversée *(lire l'encadré p. 68)*. « *Il est compliqué de demander à un malade neurologique sévère d'accomplir une tâche cognitive sur un ordinateur*, argumente Thierry Hergueta. *Là, on ne lui demande rien, le système agit tout seul.* » Une première étude, présentée lors d'un congrès à Manchester (Royaume-Uni) en 2012 a montré (sur huit patients seulement) une meilleure reconnaissance des émotions après six séances de trente-cinq minutes de ce neurofeedback « passif ». Explication : « une meilleure mobilisation des processus attentionnels ».

Les malades d'Alzheimer pourraient en bénéficier

Aujourd'hui, c'est sur des malades d'Alzheimer que l'IM2A lance une nouvelle étude, en collaboration avec l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM), visant notamment à améliorer la capacité d'attention de ces malades. « *Le neurofeedback est l'une des bonnes façons de restaurer la plasticité cérébrale* [capacité du cerveau à modifier ses connexions pour rendre ses circuits nerveux plus efficaces], assure Hovagim Bakardjian, qui pilote l'étude. *Voire de renforcer la mémoire.* »
Convaincus de l'utilité de la méthode, Jean-Arthur Micoulaud-Franchi et Olivier Pallanca ont créé, en avril, l'Association française d'enseignement et d'étude de la psychophysiologie appliquée et du biofeedback (Afeepab). Et en novembre, ils présenteront la technique lors du congrès français de psychiatrie à Nice. Le *neurofeedback made in France*, un nouveau concept à retenir, même si son nom sonne définitivement anglo-saxon. ■

Tout est-il bon dans le champignon ?

Les vertus nutritionnelles des champignons, cultivés ou sauvages, sont de mieux en mieux reconnues. Mais attention, ces organismes sont très sensibles à la pollution.

Cèpes, chanterelles ou girolles... Les champignons fleurent bon le terroir et sont d'autant plus appréciés qu'ils suscitent le léger frisson du produit pouvant se révéler aussi goûteux que vénéneux... Il est difficile d'estimer la consommation française issue de cueillettes. Une grande partie est importée des pays de l'Est, mais la récolte individuelle constitue un apport non négligeable. Et ce, même si le champignon de culture a depuis longtemps trouvé une place prépondérante.

Grecs et Romains savaient déjà obtenir des pholiotes en recouvrant de fumier et de cendres des souches de figuier. Une technique reprise à la Renaissance par les Toscans avant d'être améliorée par André Le Nôtre, jardinier de Louis XIV, puis en 1810 par un horticulteur ayant eu l'idée de mettre à profit les carrières abandonnées du sud de Paris, sombres et humides à souhait. Depuis, le champignon dit de Paris est devenu l'espèce la plus consommée dans le monde mais n'a plus de parisien que le nom, puisque 70 % de la production vient de Chine ! Car l'Extrême-Orient est le royaume des champignons, faisant à certaines espèces, shiitaké en tête, une place de choix dans la médecine traditionnelle, tandis qu'en Occident leur succès grandissant intéresse et préoccupe à la fois le milieu médical.

Ils occupent une place à part dans le monde vivant

Ni vraiment animaux ni vraiment végétaux, les champignons macromycètes empruntent aux deux. La paroi de leurs cellules est ainsi exempte de cellulose ou de lignine, molécules caractéristiques des végétaux, mais possède de la chitine, une molécule dérivée du glucose, constituant des carapaces des crustacés et des insectes. Ils possèdent aussi du glycogène qui ne se rencontre dans le règne végétal que chez les algues.

2,3 kilogrammes

C'est la quantité de champignons de Paris (*Agaricus bisporus*) consommés par an et par habitant en France.

Ils ont une bonne teneur en nutriments

Composés de 80 à 90 % d'eau, les champignons ont une valeur calorique très basse, soit environ 30 kcal aux 100 g. Les glucides assimilables et les lipides représentent moins de 2 % de leur valeur calorique totale, due essentiellement aux protéines (1). Leur teneur en protéines dépasse en effet celle de

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

MACROMYCÈTES Champignons visibles à l'œil nu, en opposition aux micromycètes.

ACIDES AMINÉS ESSENTIELS Indispensables au bon fonctionnement de l'organisme qui ne peut les produire, ils sont fournis par l'alimentation par l'intermédiaire des chaînes de protéines animales et végétales dont ils forment des maillons.

GLYCOGÈNE Forme de « réserve » de glucides dans le règne animal, le glycogène est stocké dans le foie et les muscles afin d'être disponible lorsque l'organisme a besoin d'énergie.

MYCÉLIUM Partie végétative, formée de filaments souterrains sur lesquels poussent les carpophores ou champignons au sens usuel du mot.

la plupart des légumes (2,1 à 3,3 % contre 1 à 2 %). Ces protéines sont bien dotées en certains acides aminés essentiels dits soufrés, comme la méthionine et la cystine. Elles ne peuvent cependant pas se substituer aux protéines animales car elles ne sont pas source de tous les acides aminés essentiels, comme le tryptophane. Les champignons « de couche » sont également très riches en phosphore, composant essentiel des membranes cellulaires et indispensable à la production d'énergie par l'organisme (2). Enfin leur richesse en sélénium (10 µg pour 100 g de champignons de Paris) est intéressante, cet oligo-élément jouant un rôle protecteur vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires et de certains cancers.

Ils sont une source de vitamines

Les champignons sont une bonne source de vitamines B nécessaires au fonctionnement neuro-musculaire et au bon état de la peau. Ainsi 100 g peuvent couvrir environ 25 % de l'apport journalier recommandé (AJR) pour la vitamine B2, 30 à 35 % de l'AJR pour la vitamine B3, et 20 % pour la vitamine B5. Par ailleurs, le champignon de Paris suscite l'intérêt des pays du Nord pour sa richesse en ergocalciférol, un précurseur de la vitamine D. Les populations scandinaves courent en effet un risque de carence en vitamine D, dont les deux tiers des apports sont normalement synthétisés par la peau sous l'effet de l'exposition au soleil, le tiers restant étant fourni par l'alimentation.

Le shiitaké intéresse les oncologues

Très consommé en Asie, le lentin du chêne (*Lentinula edodes*) — appelé *shiitaké* au Japon et *xianggu* (« champignon parfumé ») en Chine — est un ingrédient de la médecine traditionnelle asiatique. Il contient du lentinane, un sucre complexe qui posséderait une activité antitumorale dans le cancer du côlon, démontrée sur l'animal (3). Si le lentinane est utilisé comme thérapie adjuvante aux traitements contre le cancer au Japon et en Chine, aucune association significative n'a été démontrée entre la consommation de shiitaké et la diminution du risque de cancer gastro-intestinal (4). En revanche, sa consommation cru ou insuffisamment cuit peut provoquer l'apparition d'une éruption caractéristique de boutons prurigineux en stries donnant à la peau un aspect flagellé. Encore très rare en France, cette dermatose provoque toutefois l'inquiétude de certains dermatologues (5).

Les intoxications existent

En 2012, 1093 cas d'intoxication par des champignons ont été enregistrés par les centres antipoison français entre juillet et novembre, entraînant 369 passages aux urgences et cinq décès (6). Le trouble le plus grave est le syndrome phalloïdien, qui représente plus de 90 % des intoxications mortelles. Il est dû à deux poisons, les amatoxines et les phallotoxines, présents dans les amanites phalloïde, printanière et vireuse ou encore dans la lépiote helvéolée. Ceux-ci provoquent une atteinte hépatique souvent mortelle.

Leur toxicité est aussi liée aux pollutions

En cas de pollutions chimiques ou radioactives, le champignon devient à risque. Il puise en effet ses nutriments dans le sol, extrayant aussi bien les éléments stables que radioactifs qu'ils accumulent à la faveur de son métabolisme assez lent et de sa longévité (de l'ordre de plusieurs dizaines d'années). Le mycélium stocke ainsi le césium 137, mais aussi des métaux lourds comme le cadmium, le mercure, le plomb ou le thallium, cancérogènes et tératogènes. Enfin, la consommation de champignons ayant poussé le long des routes peut amener à ingérer des quantités de plomb et de mercure supérieures aux limites retenues par l'OMS (7). ■

Marie-Noëlle Delaby

Jean-Michel Savoie Chargé de recherche à l'Inra, Bordeaux

« Il ne faut jamais les garder dans un sac plastique »

Les champignons frais sont des aliments fragiles qu'il est préférable de ne rincer, à l'eau et au vinaigre, qu'avant usage afin de ne pas favoriser leur flétrissement. Ils se conservent jusqu'à une semaine au réfrigérateur, mais jamais dans un sachet en plastique, qui accélère leur fermentation et favorise le développement de bactéries et de substances toxiques. Les champignons se conservent également au congélateur ou déshydratés, mais seul le premier préserve leurs vitamines. Enfin, les champignons en conserve contiennent quasiment autant de nutriments que les frais, mais leur teneur en sodium peut être élevée. Il faut donc les rincer.

(1) **Table ciqual 2013,** composition nutritionnelle des aliments. www.ansespro.fr

(2) **Le champignon cultivé.** Site de l'Aprifel, Agence pour la recherche et l'information en fruits et légumes frais. www.aprifel.com

(3) **Borchers AT,** Keen CL, Gershwin ME., Exp Biol Med, mai 2004.

(4) **Hara M,** Hanaoka T, et al., Nutr Cancer 2003.

(5) **Shiitake dermatisis, Aliments,** revue française d'allergologie 51 (2011) 360-365.

(6) **Intoxications liées à la consommation de champignons au cours de la saison 2012.** Point de situation au 08/11/2012. Données consolidées au 04/11/2012. Publié le 08/11/2012 sur le site de l'Institut de veille sanitaire.

(7) **Données nouvelles sur les champignons supérieurs toxiques** par Jean-Mary Couderc (2008), mémoire de l'Académie des sciences, art et belles-lettres de Touraine.

La thérapie génique pour contrer l'hémophilie

Des chercheurs sont parvenus à réparer le gène déficient dans la coagulation du sang. Un espoir pour les malades victimes d'hémorragies à répétition.

ON PENSAIT NE JAMAIS POUVOIR LA GUÉRIR. Elle, c'est l'hémophilie, une affection héréditaire transmise par le chromosome X. Surnommée « la maladie des rois » *(lire l'encadré p. 74)*, elle est caractérisée par des hémorragies dangereuses voire mortelles. Or, l'espoir reprend. Méthode annoncée pour contrer ce trouble complexe : la thérapie génique. Objectif : remplacer le gène déficient qui empêche le foie d'effectuer plus la synthèse normale des facteurs de la coagulation — le facteur VIII en cas d'hémophilie A, le facteur IX pour l'hémophilie B.

LANDOV/MAXPPP

Un des patients de l'essai de thérapie génique mené à l'hôpital Saint Jude de Memphis (États-Unis).

Les essais cliniques sont prometteurs

Un essai pourrait démarrer en France avant la fin 2014, le premier — réussi — ayant déjà eu lieu à Londres (Royaume-Uni) et à Memphis (États-Unis) en 2011. *« La recherche n'a jamais été aussi active »*, confirme le Pr Claude Négrier, directeur du Centre régional de traitement de l'hémophilie à l'hôpital Edouard-Herriot, à Lyon, et coordonnateur du Centre national de référence de l'hémophilie. Il pilote cet automne une campagne d'information intitulée « Participate to innovate » (1), qui rappellera justement aux 6000 malades français la possibilité de participer à des essais cliniques déjà bien avancés et la poursuite de travaux d'amélioration des facteurs de coagulation manquants. Songeant aux patients qui doivent aujourd'hui régulièrement s'auto-administrer ces facteurs, en moyenne deux fois par semaine, Claude Négrier insiste : *« Il nous faut informer les malades des progrès accomplis et convaincre les réfractaires des résultats des recherches menées auprès des générations précédentes. »* Qui sait que *« l'espérance de vie des hémophiles a été multipliée par cinq en un siècle, passant de 12 ans au début du XX^e siècle à plus de 60 ans aujourd'hui »* ?

Rappelons que l'hémophilie est due aux difficultés — voire à l'absence — de coagulation du sang.

350 000 hémophiles
dans le monde, dont 70 000 traités

6000
en France

50 nouveaux cas
par an

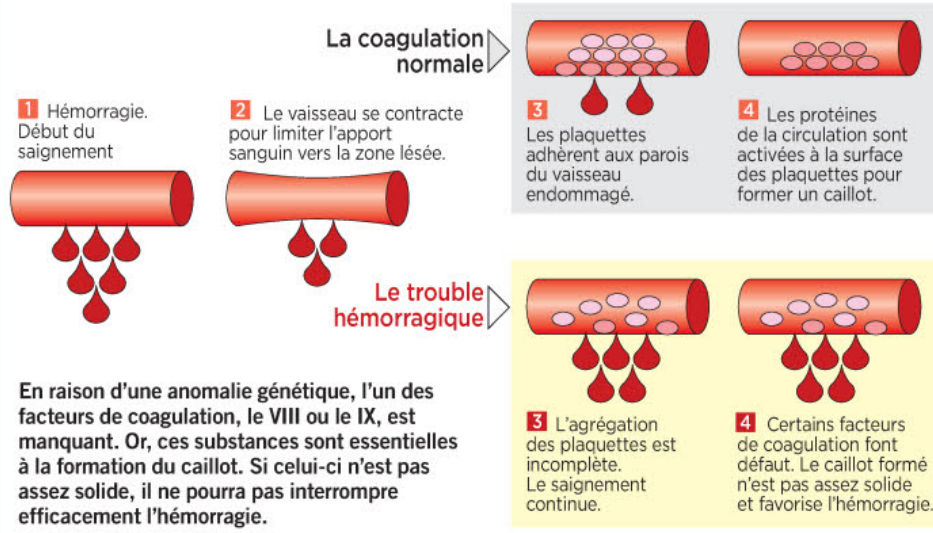
Quand un hémophile se blesse, même légèrement, les étapes de l'hémostase, le processus physiologique qui met fin à l'écoulement du sang, ne se déroulent pas normalement. S'ensuivent, au mieux, de simples hématomes ; au pire, des hémorragies internes ou externes. Surtout articulaires, celles-ci sont un facteur d'arthrose précoce, très handicapante. Et pour lutter contre la maladie, en réduisant au maximum l'apparition de saignements, les hémophiles se retrouvent soumis à un traitement draconien, le plus souvent dès l'enfance :

l'auto-injection par voie intraveineuse des facteurs de coagulation manquants, plusieurs fois par semaine selon la gravité du cas. Mais si elle permet d'abaisser le risque hémorragique, cette stratégie classique demeure très contraignante et n'est pas toujours optimale. Notamment lorsque certains anticorps, dont l'origine reste mal comprise *(lire l'encadré ci-dessous)*, s'attaquent aux facteurs injectés et inhibent le processus de coagulation.

La durée d'efficacité des injections serait rallongée

Résultat : la course à l'amélioration des facteurs de coagulation par les principaux laboratoires impliqués dans la lutte contre cette maladie (Baxter, Bayer, NovoNordisk, Pfizer, Sobi...), et le rallongement de leur durée d'efficacité. *« On espère sérieusement passer de deux injections par semaine à une tous les dix jours »*, précise le Pr Négrier. Un « allégement » bienvenu, qui sera davantage profitable *« aux hémophiles B qu'aux hémophiles A »*, du moins dans un premier temps : *« La demi-vie du facteur IX est plus longue que celle du VIII. Par conséquent, moins d'injections sont nécessaires »*, explique-t-il.

Deux facteurs de coagulation indispensables



En raison d'une anomalie génétique, l'un des facteurs de coagulation, le VIII ou le IX, est manquant. Or, ces substances sont essentielles à la formation du caillot. Si celui-ci n'est pas assez solide, il ne pourra pas interrompre efficacement l'hémorragie.

SYLVIE DAOUDAL

Ce bénéfice évident pour les patients a été gagné pas à pas. Des chercheurs ont montré à la fin des années 1990 que le trouble hémorragique pouvait être en partie corrigé sur des souris. Puis sur des chiens en 2002, et sur des singes en 2011. L'équipe britannique du Pr Amit Nathwani, du département d'hématologie de l'University College London Cancer Institute (Royaume-Uni), a ainsi annoncé qu'une production durable de facteur IX obtenue chez le macaque depuis cinq ans validait la technique de thérapie génique. Mais il a fallu attendre la fin décembre 2011 pour que soient connus les premiers résultats chez l'homme, avec la publication d'un premier travail intitulé « Joyeux Noël pour les hémophiles » (2). Il s'agissait d'administrer au patient plusieurs copies normales de son gène déficient pour restaurer la capacité de sécrétion du facteur de coagulation par le foie. Depuis cette intervention, six malades atteints d'hémophilie B sévère ont enfin pu diminuer substantiellement le recours aux concentrés de facteur IX, voire s'en passer totalement.

Ces progrès considérables reposent sur les travaux d'une équipe anglo-américaine dirigée par l'un des plus grands spécialistes au monde de la maladie, le Pr Edward Tuddenham, du Royal Free Hospital (Londres), en collaboration avec le Saint Jude Children Research Hospital (Memphis, États-Unis). Largement relayés dans la presse anglophone, les premiers témoignages des patients ▶

IMMUNOLOGIE

Quand les anticorps rejettent le traitement

Les facteurs de coagulation ajoutés par injection sont parfois détruits par l'organisme.

Il arrive que le système immunitaire considère comme étrangers à l'organisme les facteurs de coagulation manquants ajoutés par injection. Ces substances dérivées du plasma humain ou obtenues par génie génétique, qui sont apparues au début des années 1970, se présentent sous la forme de poudres à diluer avant injection. Elles sont alors plus ou moins détruites, ce qui réduit leur efficacité. On ne comprend pas encore très bien le puzzle complexe qui conduit à cette destruction. *« Il y a interaction de facteurs génétiques, inflammatoires et sans doute aussi environnementaux »*, détaille le Pr Claude Négrier. Tous les patients ne sont heureusement pas concernés, mais ce problème survient en moyenne chez un hémophile A sévère sur trois, sans que l'on sache le prévenir.

HÉRÉDITÉ

Une maladie royale

Porteuse du gène déficient, la reine Victoria l'a transmis à sa nombreuse descendance.

Surnommée la grand-mère de l'Europe, la reine d'Angleterre Victoria (1819-1901), n'avait aucun ancêtre hémophile. La mutation est donc probablement apparue chez elle ou dans les gamètes de son père. De son union avec son cousin Albert de Saxe-Cobourg-Gotha, sont nés neuf enfants, dont trois filles porteuses, Victoria, Alice et Beatrice, et un seul fils malade, Leopold.. Celui-ci mourut à l'âge de 31 ans d'une hémorragie cérébrale mais eut le temps d'avoir deux enfants : Alice, naturellement porteuse du gène déficient qui eut plus tard deux fils malades, et le vicomte Rupert Trematon, décédé comme son père d'une hémorragie. Le jeu des alliances princières européennes de cette époque a ensuite grandement facilité la transmission de la maladie dans les cours royales d'Allemagne, d'Espagne et de Russie. Au final : quatre petits-enfants et sept arrière-petits-enfants, tous hémophiles.

ROGER VIOLLET

La reine Victoria (1819-1901) a eu neuf enfants, dont un hémophile.

(aujourd'hui au nombre de dix, leur nombre ayant augmenté depuis la publication) ont fait forte impression, dont celui de Carl, âgé de 26 ans, à la BBC : *« J'ai enfin pu me passer de mes injections régulières et ai pu jouer au football, courir, participer à un semi-marathon. »* Des activités qui lui étaient jusque-là interdites. Également soulagé, Sebastian, 31 ans, s'émerveillait quant à lui de ne pas avoir vu une goutte de sang couler d'une banale coupure à la joue survenue lors d'un rasage matinal.

Le facteur de coagulation est remonté spectaculairement

Dans cet essai, les scientifiques ont introduit le « bon » gène à l'aide d'un parvovirus baptisé AAV8. Connu pour cibler particulièrement les cellules du foie, ce vecteur a aussi été choisi pour son innocuité et sa faible détection par le système immunitaire. Ce qui a permis d'éviter un traitement immunosuppresseur. Une seule injection intraveineuse a suffi pour obtenir une remontée, parfois spectaculaire, du facteur de coagulation IX (jusqu'à 12 %, contre moins de 1 % auparavant, chez certains patients). *« Cela reste loin des 100 % des personnes non malades, mais cela a complètement transformé leur quotidien »*, détaille le Pr Négrier, rappelant que dans la vie courante et en l'absence de traumatisme particulier, *« passer le cap des 5 % permet souvent de ne plus recourir à des injections. Par contre, en cas d'accident ou lors d'une intervention chirurgicale, l'apport de facteurs anti-hémophiliques s'impose. »*.

Alors, crier victoire ? La prudence est de mise, car il pourrait se révéler nécessaire de répéter un jour l'injection du vecteur. *« Il est prématuré de considérer les patients comme réellement guéris*, commente avec prudence le Pr Amit Nathwani. *Pour l'instant, ils se sont juste affranchis des injections régulières de facteurs anti-hémorragiques.* » Quoi qu'il en soit, le Pr Négrier espère collaborer avec le consortium anglo-américain et inclure les premiers patients français dans l'étude, tandis que les pionniers anglo-saxons envisagent déjà un essai similaire pour des patients atteints d'hémophilie A, la forme la plus fréquente de la maladie. Ce serait une première... sous réserve de trouver une astuce, car le gène du facteur VIII est beaucoup plus volumineux que celui du IX. En attendant, un autre défi de taille reste à relever : l'accès aux traitements. Trois hémophiles sur quatre dans le monde en sont exclus. ■

Sylvie Riou-Milliot

POUR EN SAVOIR PLUS

- Site de l'Association mondiale des hémophiles : www.wfh.org/fr
- Site de l'Association française des hémophiles : http://afh.asso.fr/
- Application Web gratuite pour smartphone afin de trouver les coordonnées du centre de traitement le plus proche : HemoMap.

(1) www.participatetoinnovate.com. Mise au point par le Pr Cedric Hermans de l'Université catholique de Louvain (Belgique) avec le soutien du laboratoire Sobi.
(2) *New England Journal of Medicine*, décembre 2011.

Par le Dr Pierre Miquel

20 %

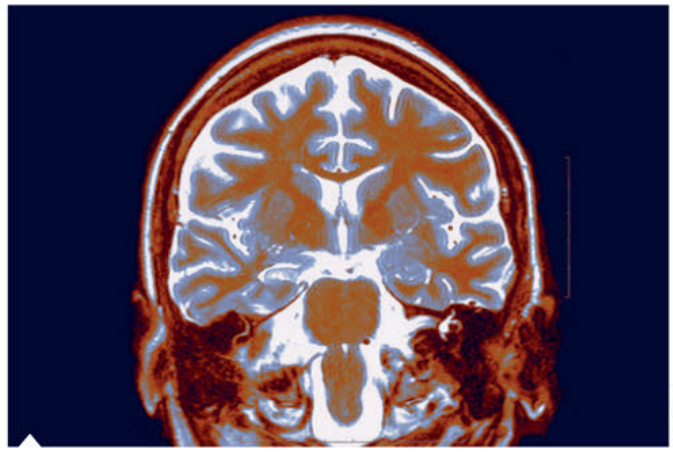
C'est l'augmentation du risque d'hypertension artérielle chez les femmes qui dorment moins de cinq heures comparées à celles dormant sept heures selon une étude américaine sur 80 000 infirmières. La privation de sommeil accroît la pression artérielle en perturbant le système nerveux sympathique, l'excès de poids étant un facteur aggravant.

American Journal of Hypertension, juillet 2013.

MÉTABOLISME

Céphalées et surpoids

Les personnes souffrant de migraine accompagnée de phénomènes sensoriels visuels ou auditifs (« aura ») sont davantage exposées que les non-migraineux au risque de troubles métaboliques parfois réunis sous le vocable de « syndrome métabolique », et regroupant hypertension artérielle, obésité, excès de cholestérol et diabète. Le risque est majoré de 40 % selon une étude norvégienne ayant suivi 20 000 adultes pendant plus de onze ans. Pain, août 2013.



SGO/BSIP

L'IRM montre que l'anxiété chez un jeune épileptique est neurobiologique.

PÉDIATRIE

L'anxiété, l'autre face de l'épilepsie

L'anxiété souvent observée dans l'épilepsie ne résulte pas d'une simple réaction émotionnelle à l'imprévisibilité des crises. Elle a une composante neurobiologique selon une étude présentée au dernier congrès international sur l'épilepsie. Cette étude portait sur plus de 130 enfants âgés de 13 ans et souffrant d'épilepsie avec ou sans troubles anxieux (phobies ou anxiété généralisée) depuis huit mois en moyenne. Comparativement aux témoins et aux épileptiques sans anxiété, les enfants ayant une épilepsie accompagnée de troubles anxieux présentent des particularités à l'IRM (imagerie par résonance magnétique) : un élargissement de certaines régions sous-corticales comme l'amygdale (localisée dans le lobe temporal) ainsi qu'un amincissement cortical dans la région du lobe frontal. La mise en évidence de ces anomalies affectant certaines zones impliquées dans les phénomènes d'anxiété plaide en faveur d'une meilleure prise en charge chez l'enfant. Medscape, 3 juillet 2013.

CHIRURGIE

Les bienfaits post-opératoires du chewing-gum

La mastication de chewing-gum accélère la reprise régulière du transit intestinal après une opération chirurgicale, comme le confirme une étude regroupant 180 femmes opérées par laparoscopie. Deux heures après l'intervention, on constate une reprise significativement plus rapide — en six heures, au lieu de huit sans chewing-gum — des flatulences dans le groupe ayant mâché de la gomme sans sucre toutes les deux heures pendant quinze minutes. En réduisant la douleur, la mastication diminue également la consommation d'antalgiques opiacés.

Obstetrics & Gynecology, juillet 2013.

DERMATOLOGIE

De l'influence du climat sur l'eczéma

L'eczéma (ou dermatite atopique) est une affection prurigineuse chronique dont la fréquence est en augmentation croissante depuis des décennies. Selon des données observées chez 90 000 enfants et adolescents, sa fréquence est d'autant plus faible que l'humidité relative, l'indice UV et les températures moyennes sont élevés. Il en est de même si les précipitations diminuent et si le domicile est chauffé moins souvent.

Journal of Investigative Dermatology, juillet 2013.

INFECTIOLOGIE

Syndrome pseudo-grippal : chercher la bactérie

D'abord identifiée au Japon puis observée dans de nombreux pays, *Borrelia miyamotoi* est une bactérie spiralée du genre *Borrelia* (groupe des spirochètes), nouvellement reconnue comme étant de la même famille que l'agent de la maladie de Lyme, transmise par des morsures de tiques. En présence de fièvre, frissons, maux de tête frontaux, photophobie, myalgies et arthralgies dans un contexte de morsures de tiques probables, avec élévation des enzymes hépatiques (transaminases), il faudrait penser à ce type d'infection. Elle se traite par les antibiotiques, en général la doxycycline. Medscape, 5 juillet 2013.

NATURE PL/E. BACCEGA

La tique transmet la « Borelia myamotoi ».

Un bourgeon de cerveau créé en laboratoire

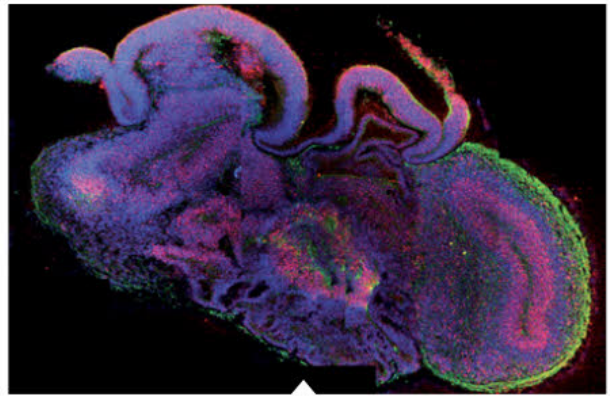
De la taille d'un petit pois, cet organoïde cérébral, créé à partir de cellules souches humaines, montre une remarquable capacité d'auto-organisation.

Lorsque des chercheurs autrichiens ont mis en culture l'an passé des cellules souches humaines de cerveau, ils étaient loin de se douter du résultat. Une structure rappelant étrangement un cerveau miniature s'est formée en l'espace d'un mois, après que ces cellules ont été placées dans un gel de soutien, puis dans un bioréacteur apportant en permanence oxygène et nutriments. De la taille d'un petit pois, cet organoïde cérébral montre une capacité d'auto-organisation, développant des régions antérieures et postérieures avec des ventricules centraux typiques du cerveau. Et parfois même, à sa surface, une ébauche de rétine de l'œil. *« C'est un nouvel outil très intéressant qui va permettre de travailler plus loin que sur des cellules isolées »*, s'enthousiasme Alain Prochiantz, neurobiologiste, professeur au Collège de France.

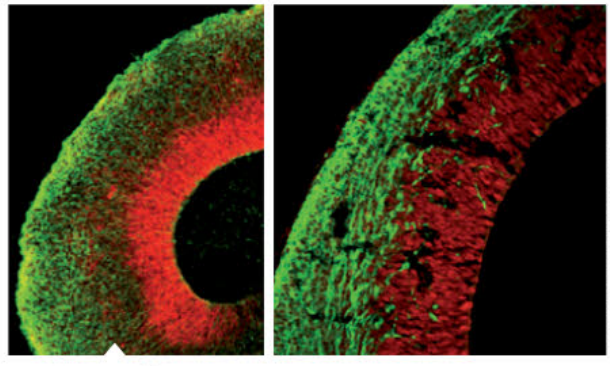
Jusqu'à présent, aucun tissu humain d'une telle complexité n'avait pu être recréé *in vitro*. En analysant ce bourgeon, les chercheurs de l'Institut de biotechnologie moléculaire de Vienne ont observé un cortex comparable à ce que l'on peut observer sur les coupes d'un cerveau humain normal de quelques semaines. *« On voit par exemple comment se forme la frontière entre deux zones distinctes du cerveau »*, ajoute Alain Prochiantz.

Pour vérifier l'intérêt de ce nouvel outil, les chercheurs viennois se sont intéressés à une maladie génétique bien particulière, la microcéphalie, caractérisée par un cerveau de taille réduite. Qu'allait devenir l'organoïde cérébral obtenu à partir des cellules d'un malade ? Ils ont ainsi pu observer *in vitro* l'équivalent du développement embryonnaire de ce cerveau pathologique. Avec un résultat extraordinaire : les chercheurs ont remarqué une différenciation prématurée des cellules en neurones, entraînant une réduction du nombre total de cellules nerveuses et l'arrêt précoce de la croissance du cerveau ! Mieux, les chercheurs sont parvenus à corriger l'anomalie en introduisant le gène manquant chez le patient.

Les maladies génétiques ne devraient pas être les seules à bénéficier de cette nouvelle technique. *« On peut également imaginer d'optimiser l'effet de médicaments non plus sur des cellules mais sur des organes qui pourront même provenir de patients »*, confirme Alain Prochiantz.



Coupe du « mini-cerveau » montrant le développement cérébral avec les cellules souches neurales (rouge) et les neurones (vert).



MADELINE A. LANCASTER & MARKO RENIC

L'organoïde (à gauche) possède les mêmes cellules souches (rouge) et neurones (vert) q'un cerveau de souris (à droite).

Il pourrait servir à l'étude du développement cérébral

Reste que ce modèle a des limites. Tout d'abord, l'organoïde ne se construit pas toujours de la même façon, ce qui complique son étude. Sa structuration en six couches cellulaires n'est pas parfaitement achevée. Sa taille reste limitée à quelques millimètres, même après plusieurs mois de culture, en l'absence d'une véritable vascularisation interne. Enfin, son développement spontané exclut aussi toute utilisation en vue de greffes. Parfois présenté abusivement comme un « minicerveau », l'organoïde va néanmoins permettre d'examiner de multiples facettes du développement cérébral humain. *« Il pourrait servir à l'avenir pour étudier des pathologies du développement nerveux, mais il m'a déjà donné l'envie de faire certaines expériences »*, confirme Alain Prochiantz. ■ **Pierre Kaldy**

HORS-SÉRIE

HORS-SÉRIE

SCIENCES ET AVENIR

AVEC Marc Peschanski (Inserm), Michel Spiro (Cern), Pierre-Henri Gouyon (Muséum), Pascal Depaepe (Inrap), Viktor Mayer-Schönberger (Oxford)...

EDITION 2014

CE QU'IL FAUT SAVOIR

L'ESSENTIEL DE LA SCIENCE

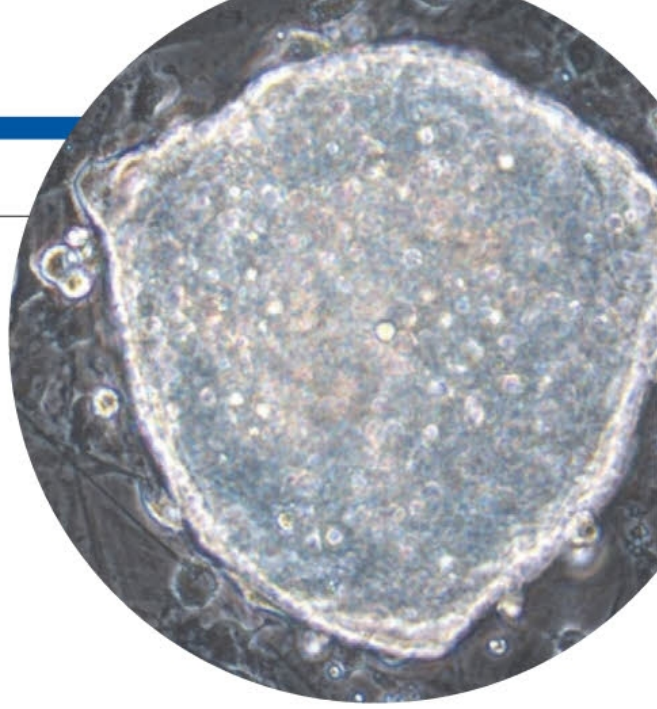
Physique • Astronomie • Mathématiques • Robotique
Archéologie • Médecine • High-tech...

© NASA / ESA - HUBBLE SPACE TELESCOPE - SPL / COSMOS - EADS - PHANIE - LATENLIMA NEUCHATEL - REUTERS

en vente en kiosque

Des souris vivantes ont produit des cellules souches

Des chercheurs sont parvenus à reprogrammer « in vivo » des cellules adultes de rongeurs. Ils ont ainsi obtenu des cellules souches de meilleure qualité que celles produites « in vitro ».



Ce procédé d'obtention des cellules iPS pourrait bouleverser la médecine régénératrice.

C'EST UN RÉSULTAT SPECTACULAIRE que viennent de rapporter dans *Nature* des chercheurs espagnols : faire en sorte que des souris fabriquent des cellules souches pluripotentes induites (iPS : *induced pluripotent stem cells*), capables de fournir quasiment n'importe quelle cellule spécialisée de l'organisme. Autrement dit, qu'au sein d'un animal vivant des cellules adultes redeviennent des cellules souches embryonnaires ! Reprogrammer *in vivo* des cellules est désormais possible. La démonstration chez l'animal de la faisabilité d'un tel concept pourrait bouleverser la pratique de la future médecine régénératrice.

L'étape du laboratoire pourrait être supprimée

Jusqu'à présent, on imaginait que pour greffer ces cellules iPS à un malade souffrant de diabète insulino-dépendant, d'insuffisance cardiaque ou de la maladie de Parkinson, il fallait au préalable les produire en passant par des manipulations sophistiquées et coûteuses en laboratoire (*lire* Sciences et Avenir *n° 794, avril 2013*). Le travail réalisé par l'équipe de Manuel Serrano, du Centre national de recherche sur le cancer (Madrid, Espagne), bouleverse ce protocole : il sera peut-être possible d'induire la production de ces précieuses cellules souches au sein même du tissu ou de l'organe à réparer sans passer par l'étape du laboratoire. Une fois ces iPS produites par le patient, elles seraient amenées à se différencier en un type cellulaire particulier, en cellule du pancréas, du cœur, en neurone, par exemple.

Aujourd'hui, pour reprogrammer des cellules adultes (de peau notamment) en cellules souches, il faut y introduire quatre gènes clés (Oct4, Sox2, Kfl4 et c-Myc). Ceux-ci produisent quatre fac-

L'avis de quatre spécialistes

JEAN-MARC LEMAITRE
Inserm/CNRS/université de Montpellier

« C'est un travail important. Beaucoup y pensaient mais personne ne l'avait fait. Désormais on sait qu'une reprogrammation in vivo *est possible. Pourra-t-on utiliser cette technique pour faire un jour de la vraie régénération de membre, par exemple faire repousser un doigt coupé ? On voit que le système est très plastique. Toutefois, il reste tout un fossé scientifique à combler. »*

LAURE COULOMBEL
Inserm, plate-forme Cellules souches

« Contrairement à ce que l'on pensait, la reprogrammation est un processus assez robuste pour pouvoir se faire in vivo. *Que les cellules iPS générées ainsi soient plus efficaces que celles produites* in vitro *peut s'expliquer :* in vivo, *nous sommes dans une situation de vascularisation et dans un environnement en trois dimensions où le contact avec les autres cellules est plus complet. Ce qui démontre que fabriquer des cellules dans des boîtes en plastique ne suffit pas. »*

PHILIPPE MÉNASCHÉ
Unité de chirurgie de l'insuffisance cardiaque, hôpital européen Georges-Pompidou (Paris)

« Ce résultat propose des pistes d'exploration pour comprendre les anomalies placentaires. Et à terme, il n'est pas totalement insensé d'envisager utiliser les animaux comme des bioréacteurs, des usines de production amplifiée de cellules iPS en reprogrammant les cellules in vivo *et* in situ *plutôt qu'*in vitro. *Encore faudra-t-il être en mesure de récupérer ces cellules avant le stade tumoral... »*

MARIA ABAD ET LLUC MOSTEIRO / CNIO

teurs de croissance jouant un rôle dans les premiers temps du développement embryonnaire. Les cellules adultes ainsi reprogrammées, dénommées iPS, sont capables de « remonter le temps » jusqu'au stade embryonnaire.

Cette technique de production, mise au point en 2006, a d'ailleurs valu le prix Nobel de médecine en 2012 au Japonais Shinya Yamanaka. Les chercheurs espagnols sont allés plus loin : l'organisme de leurs souris transgéniques fabrique lui-même ces quatre facteurs de croissance. Pour activer les quatre gènes, ils ont fait boire aux rongeurs de l'eau contenant de faibles doses de l'antibiotique doxycycline. Résultat : au bout de deux semaines et demie, les rongeurs ont développé des tumeurs (tératomes) issues de cellules souches pluripotentes et contenant plusieurs types cellulaires adultes. Preuve manifeste pour les chercheurs que des cellules adultes de ces rongeurs avaient bien été reprogrammées en iPS avant qu'elles ne se transforment, à leur tour, et en divers endroits, en plusieurs types cellulaires. Par ailleurs, l'analyse de tissus de l'estomac, de l'intestin, du pancréas et des reins des rongeurs a montré la présence disséminée d'une reprogrammation cellulaire *in vivo*. De même, les chercheurs ont détecté la présence d'iPS dans le sang des souris qui avaient été reprogrammées pour en fabriquer.

Ces cellules iPS sont d'une qualité supérieure

Une autre surprise attendait les chercheurs : les cellules iPS produites chez ces souris étaient d'une qualité supérieure à celles obtenues jusqu'à présent en laboratoire. En effet, outre leur capacité à se transformer en n'importe quel type de cellule d'un embryon, elles ont pu se différencier en placenta. Ce résultat étonnant fait dire aux chercheurs que ces iPS obtenues *in vivo* sont à un stade encore plus précoce que les iPS produites en laboratoire. Il est évidemment hors de question d'utiliser une procédure semblable chez l'homme, dans la mesure où les cellules reprogrammées risqueraient de former des tumeurs. En revanche, une stratégie de régénération *in vivo* pourrait, dans l'avenir, consister à administrer au malade, localement et pendant un temps limité, des gènes synthétiques codant les quatre facteurs de croissance identifiés par le prix Nobel Shinya Yamanaka.

D'autres pistes sont à l'étude comme administrer, au sein d'un organe ou d'un tissu malade, un cocktail de petites molécules capables d'activer le programme génétique de production de cellules iPS ou utiliser des virus rendus inoffensifs pour délivrer les quatre fameux gènes clés. ■

Marc Gozlan

LAURENT DAVID
responsable de la plate-forme iPS de Nantes

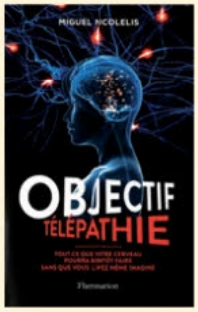
« L'utilisation d'un modèle in vivo *permet de tester en une fois plusieurs environnements biologiques correspondant à différentes conditions de culture. Ce qui a permis d'obtenir ces "super-iPS". Mais l'approche* in vivo *est trop complexe et trop risquée pour devenir celle de la médecine régénératrice. Ce travail servira essentiellement à obtenir* in vitro *des cellules iPS humaines plus robustes et en plus grande quantité qu'actuellement. »*

Propos recueillis par Hervé Ratel

Simon-Daniel Kipman, Albin Michel, 223 p., 18 €

L'Oubli et ses vertus

Qu'on oublie ses clés ou un prénom..., l'oubli a, le plus souvent, une connotation négative. L'auteur, psychiatre et psychanalyste, bat en brèche cette vision réductrice. Après avoir exploré le rapport complexe que l'on entretient avec notre mémoire, il démontre qu'il est *« une réaction positive », un mécanisme naturel « de défense contre le malaise, les mal-être, l'angoisse »*. Il en détermine les fonctions, de la petite enfance à la vieillesse, jusque dans la maladie d'Alzheimer. Éclairant. ■ **E. S.**

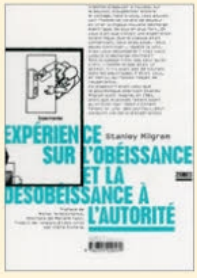


Miguel Nicolelis, Flammarion, 23 € (parution le 10 octobre)

Objectif télépathie

Passons sur le titre, en total « déphasage » avec celui de l'édition originale anglaise*, mettant en avant les promesses des interfaces cerveau-machine (ICM) qui pourraient contrôler par la pensée les mouvements d'un bras robotisé ou d'une jambe. Surtout, cet ouvrage ne brille pas par sa clarté. Une occasion ratée de présenter les ICM, dont l'auteur ne doute pas qu'elles restaureront les fonctions neurologiques de personnes qui ne peuvent plus toucher, saisir un objet ou marcher. ■ **M. G.**

* Beyond Boundaries : The New Neuroscience of Connecting Brains With Machines — and How It Will Change Our Lives.



Stanley Milgram, Zones, 92 p., 11,50 €

Expérience sur l'obéissance et la désobéissance à l'autorité

Sous la houlette de scientifiques, des hommes infligent des chocs électriques de plus en plus intenses à des volontaires (en réalité des acteurs), afin de mener des tests sur la mémoire. L'expérience porte sur ceux qui envoient les décharges : jusqu'où sont-ils prêts à obéir ? Menée par l'Américain Stanley Milgram en 1965, cette expérience a montré que la majorité des gens obéissent aveuglément dès lors que l'ordre vient d'une « autorité ». ■ **C. M.**

La nouvelle vie des données publiques

L'« open data » — l'accès libre aux bases de données des services publics — offre un potentiel énorme pour comprendre et anticiper des phénomènes sociologiques, économiques, urbains. La preuve à travers quatre exemples.

Par Arnaud Devillard

C'est un ordre du président américain Barack Obama. Plus exactement un « executive order » du 9 mai qui définit la manière dont 180 administrations fédérales devront rendre accessibles et lisibles leurs données publiques. Autrement dit budgets, recensement, listes d'associations, statistiques, inventaires de parcs et jardins, ou éléments d'information sur les réseaux de transports en commun, niveaux de pollution, biodiversité, parkings publics, accès handicapés, comptage de véhicules... Mi-juin, c'était au tour des membres du G8, dont la France, de s'engager dans une charte afin d'établir un plan d'action d'ouverture de leurs données publiques. Ce mouvement porte un nom : open data. Littéralement « données ouvertes ». Issues des services publics, ces informations devront être librement consultables sur Internet. Le principe n'est pas totalement nouveau. *« Mais avec les nouvelles technologies (capteurs, vidéosurveillance, géolocalisation), il y a de plus en plus de données et leur mise en ligne ainsi que leur réutilisation sont facilitées »*, souligne Simon Chignard, auteur d'*Open data – Comprendre l'ouverture des données publiques* (Fyp éditions). C'est la ville de Washington (États-Unis) qui s'est lancée la première, en 2007. En France, ce fut Rennes en 2010, avec les données relatives aux transports en commun de son opérateur Keolis. À ce jour, une quarantaine de communes, départements, Régions ont embrayé. Jusqu'au gouvernement, qui centralise des données provenant des établissements publics sur data.gouv.fr.

En clair, une avalanche de données ! Une aubaine pour les développeurs, incités par des concours à exploiter ces ressources pour créer des services pratiques, sur Internet ou téléphone mobile. Récompensée en juillet par la RATP, l'application mobile Open Paris propose ainsi un mode de transport en commun alternatif en cas de problème sur une ligne de métro ou de bus ; à Rennes et Montpellier, Handimap géolocalise les itinéraires et lieux accessibles aux handicapés ; à Nantes, Statiophone signale en temps réel à l'automobiliste le nombre de places libres dans le parking public le plus proche. D'une utilité évidente, ces programmes n'en constituent pas moins le petit bout de la lorgnette. Car le traitement de ces données peut donner des clés pour des programmes sociaux, des études économiques... Aider à la gestion de l'espace urbain, faciliter une démarche prospective, détecter des phénomènes peu visibles...

180 administrations américaines vont devoir rendre accessibles leurs données publiques, selon un décret du président Obama.

Quelles contreparties ?

Ainsi, selon le collectif Transparence Santé, si on avait connu la consommation de médicaments et les hospitalisations, il aurait été possible de repérer plus tôt les mésusages du Mediator. Un bienfait, sans doute, mais sans contrepartie ? N'y a-t-il pas là un danger pour la vie privée (même si les données publiques sont anonymes), comme le soulignent l'Assurance maladie et la Sécurité sociale, qui rechignent à livrer leurs données ? Le gouvernement a commandé un rapport sur le sujet et la Cnil (Commission nationale de l'informatique et des libertés) a lancé une enquête sur les dérives possibles de l'open data. En attendant, l'ouverture des données publiques continue. Mais à géométrie variable. ■

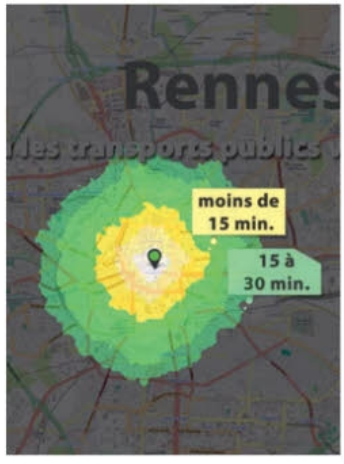
TRANSPARENCE

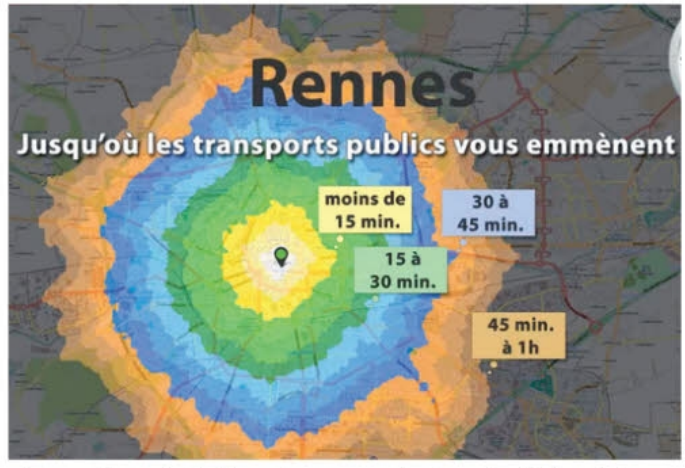
Renforcer la preuve scientifique

Outre leurs résultats, les scientifiques peuvent désormais rendre publics via le site RunMyCode les jeux de données qu'ils ont utilisés, les algorithmes qu'ils ont créés pour leur recherche, etc. Un bon moyen de contrôle. *« On peut vérifier plus vite les résultats, voir si les chercheurs font fausse route, s'ils ont utilisé des jeux de données erronées ou si leurs algorithmes ne sont pas bons »*, explique ainsi Stéphane Pouyllau, chercheur au CNRS.

Un exemple : sciav.fr/1elLKsr

Jusqu'où va le bus 30 de 8 h 25 en une demi-heure de trajet ?





DR

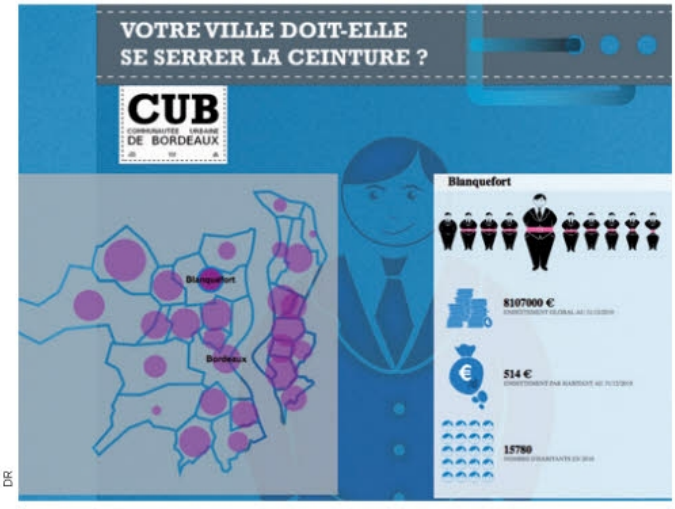
Où puis-je aller avec les transports en commun en moins d'un quart d'heure, en une demi-heure, en trois quarts d'heure, en une heure et en plus d'une heure ? À Rennes, une animation vidéo (« Un lundi à Rennes »), créée par la société Isokron, s'est basée sur les ressources de Keolis, spécialiste du transport, pour montrer à tout un chacun où il peut se rendre, heure par heure, pendant toute une journée : un savoir jusque-là dissimulé dans les profondeurs d'une liste de chiffres. *« Ce qui est intéressant, c'est que l'on a réutilisé les mêmes données que pour une application mobile d'information voyageurs, mais pour raconter tout à fait autre chose sur la ville »*, observe Simon Chignard président de l'association rennaise Bug. Le Centre for Advanced Spatial Analysis (Casa) de l'University College de Londres s'est spécialisé dans ce genre de démarche. En 2011, il créait une animation dévoilant l'impact d'une grève du métro londonien, en l'occurrence celle du 4 octobre 2010, sur l'usage des vélos en libre-service (les « Boris Bikes »). Le programme utilisait les données de TFL, la régie des transports londoniens, pour révéler les trajets les plus empruntés et la création de véritables « hubs » (plaques tournantes) de Boris Bikes. *« Les chercheurs ont traditionnellement un accès privilégié à de vastes jeux de données. Mais on en a libéré tellement ces dernières années qu'ils en entraperçoivent à peine tout le potentiel »*, relève Oliver O'Brien, chercheur informaticien au Casa.

sciav.fr/16TsBKm

> « Les chercheurs perçoivent à peine tout le potentiel des jeux de données qui ont été libérés ces dernières années »
>
> **Oliver O'Brien**
> chercheur informaticien, University College de Londres

Quelle est la commune de la communauté urbaine de Bordeaux la plus endettée ?

Ici, la plus endettée, Saint-Aubin-de-Médoc, là, Pessac, la bonne élève de la CUB qui compte 27 communes. Cette cartographie de l'état de leurs finances fait sauter aux yeux des situations très importantes à connaître, aussi bien pour les décideurs que pour chaque citoyen : endettement global de la commune, endettement par habitant, nombre d'habitants (ce qui permet de classer les municipalités en fonction du niveau de restriction budgétaire qui en découle). C'est grâce à la manne des données publiques qu'une telle visualisation a été rendue possible. Une application presque basique que cet accès aux données



DR

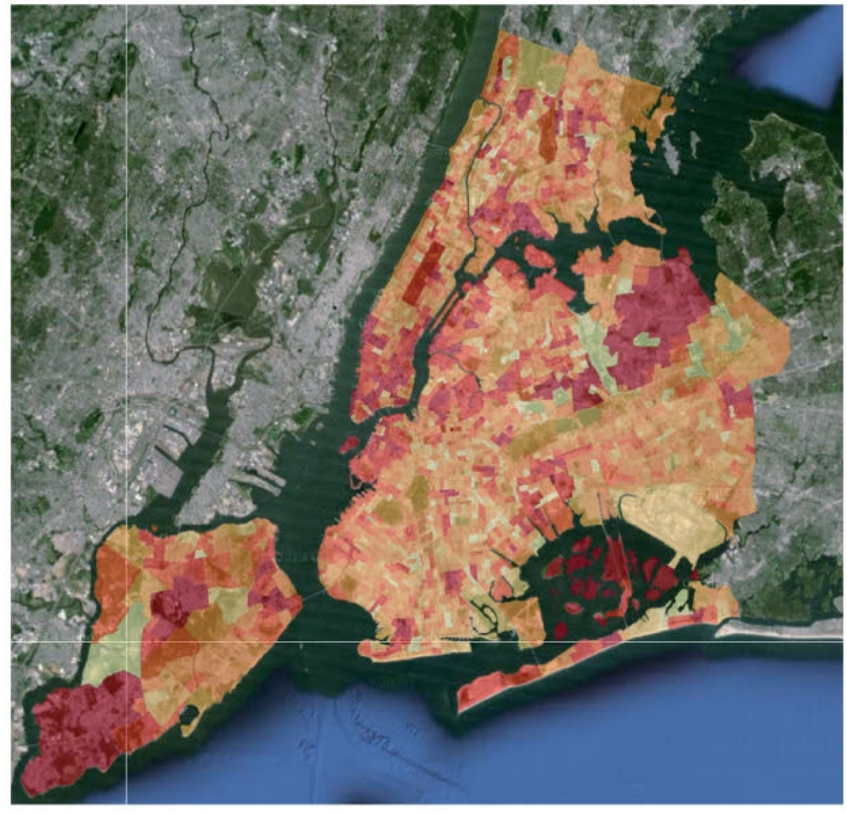
par un moyen ergonomique et interactif. Depuis deux ans, en se fondant sur les données des collectivités territoriales d'Aquitaine, les étudiants de l'École de communication visuelle et de l'Epitech réalisent ainsi de multiples interfaces : comparaison des équipements sportifs en Gironde discipline par discipline, budget consacré à la lutte contre la précarité à Bordeaux, répartition géographique des votes, etc. Dans un autre registre, le ministère britannique de l'Intérieur produit, sur police.uk, une troublante cartographie rue par rue des crimes, classés par catégorie...

sciav.fr/142jrgD

L'élagage des arbres de New York est-il efficace ?

Résidez-vous dans une zone où une branche risque de vous tomber sur la tête en cas de tempête ? Vous le saurez en consultant une nouvelle carte de la ville de New York comportant sept niveaux de risque qui vient d'être réalisée cette année. Pour pouvoir fournir ce service, la municipalité new-yorkaise a livré des données cruciales à un groupe bénévole de *data scientists*, Datakind : inventaires des 600 000 arbres d'alignement et des 2,5 millions d'arbres des parcs et jardins de la Grosse Pomme, liste des interventions de voierie suite à des appels de riverains pour déblayer les débris d'arbres après une tempête, programme annuel d'élagage. Les analystes ont croisé ces éléments avec des historiques de tempêtes ayant frappé la ville. Résultat : chacun pourra mieux se préparer aux passages des successeurs des ouragans Irene ou Sandy. Brian Dalesandro, spécialiste en traitement de données au sein de la start-up Media6Degrees, mis à contribution pour cette étude, a fait encore plus fort : il a réussi à évaluer l'efficacité des travaux municipaux d'élagage. Un quartier est-il élagué une année ? L'année suivante, il nécessite en moyenne 22 % d'interventions en moins. Un indicateur dont les services de la ville de New York n'avaient jamais disposé.

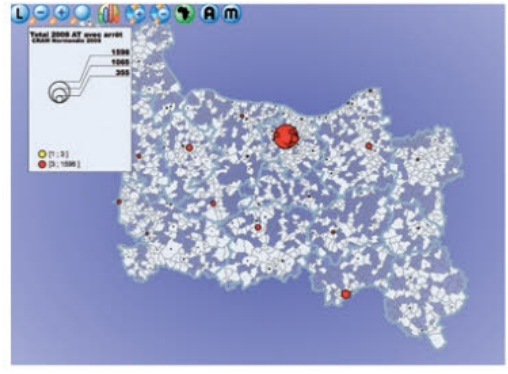
sciav.fr/17m8O9e



DR

Quand l'accident du travail est affaire d'aménagement du territoire

Plus faible est le taux d'encadrement dans une entreprise, plus grande est la fréquence des arrêts de travail liés à un accident du travail. En clair, les PME et TPE sont les plus exposées, car elles disposent de moins d'encadrement pour relayer les messages sur la prévention des risques. C'est en menant entre 2008 et 2009, à titre d'expérimentation, une étude sur les accidents du travail dans le secteur de la métallurgie en Basse-Normandie que l'Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail (Anact) a révélé cette situation. Le tout en agrégeant des données venues de l'Insee, de Pôle emploi, de la Caisse régionale d'Assurance-maladie… *« C'était la première fois que nous travaillions ainsi avec une Cram, traditionnellement réticente à partager ce genre de données détaillées »*, souligne Vincent Mandinaud, chargé de mission à l'Anact. Autre révélation : plus une entreprise est isolée, plus il y a risque d'accident. *« On s'est aperçu que la densité du tissu entrepreneurial jouait un rôle important dans le taux d'accidents du travail »*, explique le chargé de mission. Dans les sites isolés, les employés, préoccupés par les longs trajets aller et retour, n'ont pas l'esprit libre, et leurs échanges sont moindres — voire inexistants — avec des salariés d'entreprises voisines. Autant d'enseignements qui peuvent aider à la réflexion en matière d'aménagement du territoire et de stratégie prenant en compte les conditions de travail.



DR

sciav.fr/1a27DxN

POUR EN SAVOIR PLUS

L'executive order d'Obama : Your link was saved!
http://sciav.fr/1flIf31

Boris Bikes
sciav.fr/14x4ONi

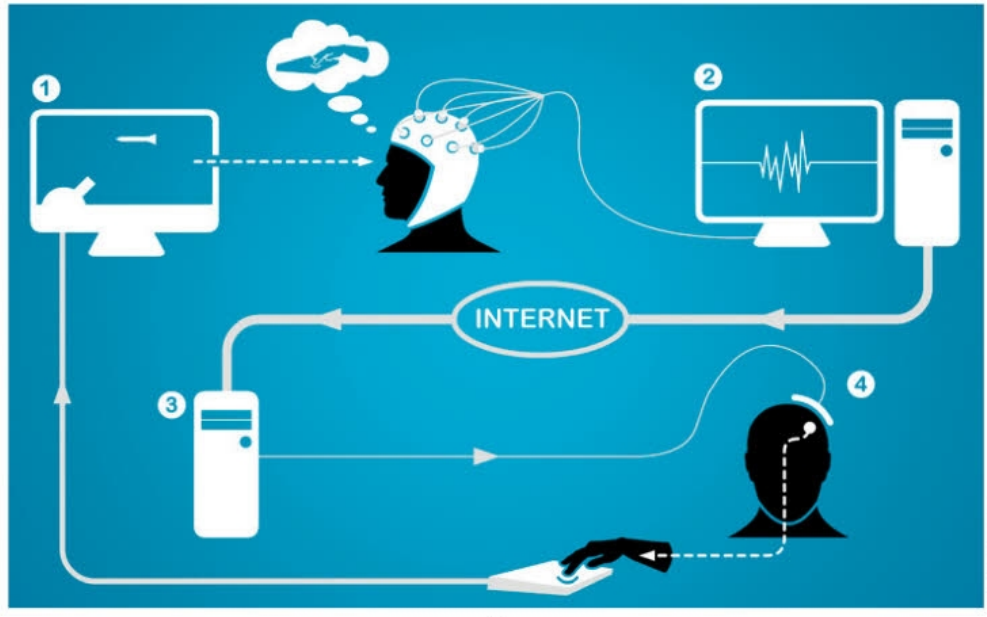
La carte de l'open data en France
sciav.fr/16XX5aN

Quand la pensée d'un humain fait agir un autre à distance

Deux chercheurs américains sont parvenus à établir une communication directe entre leurs cerveaux grâce à un appareil de stimulation magnétique transcranienne.

Après les rats prétendument « télépathes » *(lire S. et A. n° 796, juin 2013)*, serait-ce au tour des hommes de pouvoir échanger de l'information de cerveau à cerveau ? C'est du moins ainsi que les médias ont présenté l'expérience de deux Américains qui sont parvenus, cet été, à établir une communication directe entre leurs cerveaux.

Dans cette expérience, Rajesh Rao, spécialiste des interfaces homme-machine à l'université de Washington, à Seattle, tenait le rôle de « l'émetteur ». L'activité électrique de son cerveau était enregistrée par électroencéphalogramme (EEG) pendant qu'il jouait à un jeu simple sur son ordinateur, consistant à tirer sur une cible. En réalité, il ne tirait pas, se contentant d'imaginer sa main appuyant sur une touche pour tirer. Placé à l'autre bout de l'université, le psychologue Andrea Stocco jouait lui le rôle du « récepteur ». Un appareil de stimulation magnétique transcranienne (TMS) était posé sur le côté gauche de sa tête, au niveau de l'aire cérébrale qui contrôle l'activité motrice. Lorsque la TMS était activée, elle déclenchait un soulèvement de la main droite du chercheur afin qu'elle retombe sur la touche du clavier, exécutant ainsi le tir imaginé par Rajesh Rao. L'expérience repose sur l'analyse en temps réel de l'EEG de l'émetteur. Quand celui-ci imagine qu'il tire, l'EEG enregistre un changement du rythme d'oscillation de certaines ondes — les ondes mu — de la partie frontale du cerveau, liées à l'activité motrice.



DAMIEN HYPOLITE

L'émetteur imagine qu'il joue à un jeu vidéo de tir (1). Quand il pense à appuyer sur une touche pour tirer, le rythme de certaines ondes cérébrales est modifié (2). Cette modification est transmise par Internet (3) à un appareil de stimulation transcranienne placé sur le crâne du récepteur (4). La main de ce dernier fait alors automatiquement le geste imaginé par l'émetteur pour tirer.

Cette expérience reste éloignée de la télépathie

Ce changement est aussitôt envoyé, par Internet, vers l'appareil de TMS situé sur la tête du récepteur, activant sa main. *« Cette expérience ouvre tout un champ de recherche qui est celle de la communication de cerveau à cerveau »*, explique Antoni Valero-Cabre, chercheur à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière, à Paris. *« Pour autant, ne parlons pas de télépathie !* poursuit-il. *Il n'y a pas eu de transmission de pensées mais seulement transmission d'un stimulus visant à déclencher une réponse motrice simple. Le récepteur ne reçoit pas de manière consciente l'ordre de tirer. »*

Et de cette expérience à la télépathie, il y a encore un monde. Car, encore faudrait-il comprendre où et comment sont codées les pensées dans le cerveau, pour ensuite les reproduire en stimulant un autre cerveau. Or, ce codage est autrement plus complexe que celui du mouvement de la main. *« En outre*, ajoute Antoni Valero-Cabre, *la façon dont nos réseaux de neurones sont organisés par notre expérience et nos apprentissages risque de varier d'une personne à l'autre. Du coup, la même stimulation envoyée dans deux cerveaux différents ne produira pas forcément le même résultat. »* Le téléphone a encore un bel avenir ! ■

Olivier Hertel

Aérogels : légers mais costauds...

Ces matériaux constitués d'un gaz emprisonné dans un solide offrent de nombreuses applications. Des procédés innovants permettent d'abaisser leurs coûts de fabrication.

L'IMAGE EST IMPRESSIONNANTE : un bloc noir de la taille d'une tasse à café est posé sur une graminée... qui ne ploie même pas ! Et pour cause : ce matériau, présenté en mai 2013 par une équipe chinoise dans la revue spécialisée Advanced Materials, est le plus léger du monde. Sa densité est de 0,16 mg/cm^3. Un mannequin de taille humaine fabriqué avec ce matériau ne pèserait ainsi que 13 grammes, moins que trois feuilles de papier standard ! Le précédent record (0,18 mg/cm^3), détenu par une équipe allemande, aura tenu moins d'un an. Signe que la course aux matériaux superlégers est bel et bien lancée, aussi passionnante qu'une compétition sportive...

Joliment surnommés « *fumées gelées* », ces aérogels ont en effet tout pour susciter l'enthousiasme, tant du côté des laboratoires que des industriels grâce à leur faible densité puisqu'ils contiennent jusqu'à 99,9 % d'air. Ce qui leur confère d'excellentes propriétés d'isolation thermique et phonique. De plus, ils ne sont composés que de matériaux très abondants et peu coûteux : carbone, silicium, oxygène... Enfin, certains aérogels sont également capables d'éponger plusieurs centaines de fois leur masse d'hydrocarbure, d'autres conduisent l'électricité, d'autres encore absorbent remarquablement les chocs. De quoi envisager de multiples applications.

NASA

Robuste et isolant : un aérogel en silice peut soutenir une brique de 2,5 kg ou préserver une fleur de la destruction par une flamme intense.

Tout a démarré dans les années 1920 aux États-Unis, lorsque deux chimistes américains, Charles Learned et Samuel Kistler, se sont demandé : « *Pourrait-on remplacer le liquide d'une gelée par un gaz, sans que tout s'effondre ?* ». Kistler a relevé le pari. Et en 1931, il publie le premier article décrivant un « aérogel » ainsi qu'il nomme ce nouveau matériau.

Principale difficulté : éviter l'effondrement de la structure

La recette semble simple : prendre un gel, c'est-à-dire un liquide emprisonné dans un solide. Extraire le liquide et le remplacer par un gaz. Mais toute la difficulté de fabrication est d'ôter le liquide « *sans que tout s'effondre* ». En effet, il existe de nombreuses tensions capillaires dans le gel, des forces entre le liquide et le gaz. Ces tensions étant d'autant plus fortes que la taille des pores est petite, elles sont donc très élevées dans les aérogels. Pour éviter l'effondrement de la structure, Samuel Kistler a remplacé l'eau de son gel de silice (un polymère de silicium et d'oxygène) par de l'éthanol qu'il a chauffé à haute pression jusqu'à atteindre l'état « supercritique », ni liquide ni solide, où il n'existe donc plus de tension capillaire.

Ces aérogels ont été commercialisés dès les années 1940 et jusqu'aux années 1970, sous le nom de Santocel, avant d'être abandonnés à cause des coûts de fabrication. Ce n'est qu'au début des années 2000 que des industriels se sont à nouveau enthousiasmés pour ce matériau. En France, la société Enersens, créée en 2010 par le groupe

CHAO GAO

Ce matériau composé de carbone est le plus léger au monde : le bloc posé sur une graminée ne fait même pas plier les poils de l'extrémité de la plante.

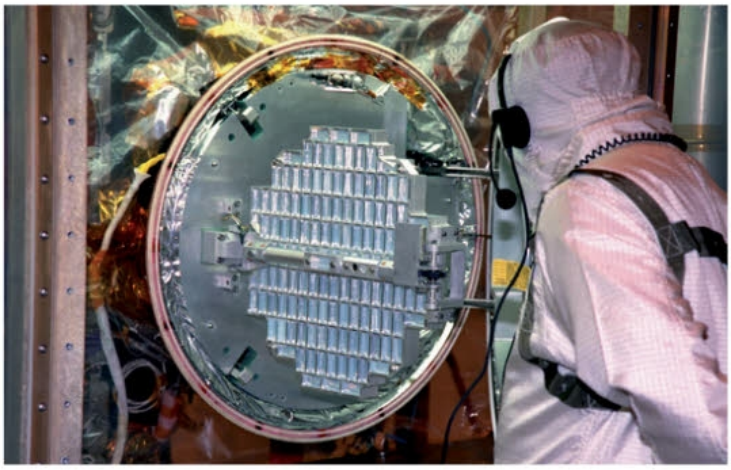
chimique PCAS, prévoit de lancer dès 2014 la production à large échelle d'aérogel de silice, avec l'ambition de devenir le leader européen de cette famille de matériaux.

Principale difficulté : sécher cle gel. En effet, la technique mise au point par Samuel Kirsler était trop lente, mais aussi trop dangereuse, car utilisant de l'alcool inflammable à haute pression et à température élevée. D'où l'intérêt de la méthode révolutionnaire évitant les hautes pressions mise au point par la société Enersens, en collaboration avec le centre Procédés, énergies renouvelables et systèmes énergétiques (Persée) de l'École des mines de Paris à Sophia-Antipolis, et brevetée en 2004. Leur idée : traiter chimiquement la surface du polymère de silice afin que l'affaissement du gel lors du séchage par évaporation soit réversible. « *Pour cela, il faut éviter que les atomes liés au silicium dans le réseau de silice réagissent chimiquement les uns avec les autres durant l'effondrement*, indique Arnaud Rigacci, directeur de Persée. *C'est pourquoi on remplace ces atomes par d'autres, qui ne forment pas de liaisons chimiques entre eux dans ces conditions. On rend ainsi l'effondrement réversible : un véritable "effet ressort" est observé dès la fin du séchage lorsque les tensions capillaires se relâchent.* » Cette méthode peut se dérouler à pression ambiante et température inférieure à 100 °C. Une innovation qui devrait permettre à l'aérogel de silice de connaître le succès commercial.

13 g

C'est la masse qu'aurait un mannequin de taille humaine fabriqué en aérogel.

Plus de quatre-vingts ans après la découverte de ces matériaux, les industriels parient en effet aujourd'hui sur de nombreuses applications. La principale visée : l'isolation. « *L'aérogel de silice est constitué de cages semi-ouvertes de très petite taille, 20 nanomètres environ. Pour traverser le matériau, les flux de chaleur doivent faire des zigzags, beaucoup parviennent dans des "impasses", d'où la très faible conduction thermique* », explique Pierre-André Marchal, directeur d'Enersens. Il suffit ensuite de le conditionner sous forme de panneaux isolants à poser sous les toits ou sur les murs. Si l'aérogel reste largement plus cher que les isolants classiques, il est aussi deux à trois fois plus efficace que la laine de verre ou le polystyrène expansé. Les premiers



NASA

ESPACE

Ils ramassent la poussière des comètes

Voici l'une des applications les plus insolites des aérogels de silice. La sonde Stardust de la Nasa, lancée le 7 février 1999, comportait un collecteur rempli d'aérogel *(photo)* qui a traversé la queue de la comète Wild 2 le 24 janvier 2004. Mission accomplie le 15 janvier 2006, lorsque ce collecteur rempli de plusieurs milliers de particules de comète a atterri dans le désert de l'Utah aux États-Unis. La grande porosité des aérogels leur permet en effet d'incorporer facilement ces poussières que l'on repère aisément dans ce piège transparent. Enfin, sa grande légèreté est évidemment un atout dans le spatial où l'on traque le moindre gramme superflu. Les aérogels ont également été utilisés pour protéger de la chaleur les robots explorateurs de Mars, et pour isoler les réservoirs de carburant des navettes spatiales.

marchés visés seront donc l'isolation dans les installations industrielles (tuyauteries, équipements cryogéniques, réservoirs de stockage sensibles...), où les exigences sont élevées, mais aussi la rénovation thermique des bâtiments, lorsqu'on n'a pas la place d'installer de grandes épaisseurs d'isolants, ce qui oblige à avoir recours aux matériaux les plus performants. À condition de réduire leurs coûts.

Dernier obstacle : les aérogels sont fragiles et friables. Il faut donc les renforcer mécaniquement, par exemple en les combinant avec des matériaux protecteurs. C'est ce que fait l'américain Aspen en imprégnant une matrice de fibres avec des aérogels de silice, pour former un isolant souple. L'autre solution est de fabriquer des aérogels hybrides à base de silice mais aussi de carbone, intrinsèquement plus résistants. Ces matériaux n'en sont encore qu'au stade de laboratoire (Enersens a déposé deux demandes de brevets), mais, pour Arnaud Rigacci, *« ce type de matériau "composites" est probablement la clé capable de faire sauter ce verrou de la fragilité mécanique des aérogels »*.

Les applications potentielles de ces matériaux sont nombreuses : adjuvants dans les peintures (pour les rendre plus mates ou changer leur viscosité), électrodes de batteries à base d'aérogel de carbone, stockage de gaz... Cependant, l'isolation thermique et, dans une moindre mesure, acoustique, est clairement l'application reine, celle qui permettra aux aérogels de devenir un vrai matériau industriel. ■

Cécile Michaut

Amory B. Lovins et le Rocky Mountain Institute,
Rue de l'Échiquier,
672 p., 29 €

Réinventer le feu

Bill Clinton, ancien président des États-Unis, en est fan : voici la bible des énergies durables, efficaces, économes développée par l'inventeur du concept Négawatt *(lire* S. et A. *n° 774, août 2011)*. Pour entrer dans une nouvelle ère énergétique, il propose de réinventer le feu, autrement dit d'user de solutions économiques novatrices, y compris high-tech. Fruit de trente années de recherche et de pratique, cet essai concret et détaillé veut convaincre les entreprises des secteurs les plus énergivores — transports, bâtiment, industrie et production électrique — qu'elles peuvent faire du profit et se passer complètement de charbon, pétrole et gaz d'ici à 2050. Pour concilier utilement écologie et économie. ■ **Rachel Mulot**

Loïc Le Pallec,
Sarbacane,
320 p., 16 €

No Man's land

Après une catastrophe qui a éliminé les humains de la surface de la Terre, des robots se regroupent dans une petite ville. Ils acquièrent peu à peu une conscience, puis émergent l'amitié, le sentiment amoureux, l'art, l'angoisse de mort. Ces robots nous interrogent sur ce qui fonde l'individu, entre l'inné (ici, le programme initial) et l'acquis (comment ce programme évolue). Un roman séduisant, mais on aurait aimé que le comportement des robots soit moins calqué sur celui des humains, afin de voir émerger des sentiments purement robotiques. ■ **Cécile Michaut**

Stéphane Vial,
PUF, 333 p., 20 €

L'Être et l'écran

Facebook, Google, Tweeter... Depuis une quinzaine d'années, le monde numérique a pris une place de plus en plus importante dans nos vies, bouleversant jusqu'à notre conception et notre perception du réel. Recherche philosophique sur la révolution numérique en cours, cet ouvrage s'interroge sur le devenir de notre être aux prises avec les technologies actuelles. Est-on en train d'assister à la naissance d'un nouvel être dont le numérique serait alors la matrice ontophanique ? Pour public averti. ■ **Hervé Ratel**

À L'ÉPREUVE DES FAITS

LA CURE D'EAU QUINTON

De l'eau de mer vendue en ampoules doperait le système immunitaire et permettrait à certains patients de s'épargner bien des dialyses.

Boire la tasse ?

THOMAS BAAS POUR SCIENCES ET AVENIR

AVALER DE L'EAU DE MER, C'EST BON POUR LA SANTÉ, assurent les laboratoires Quinton, une entreprise espagnole qui commercialise de l'eau de mer pompée par bateau dans le golfe de Gascogne sous l'appellation « eau Quinton ». Traitée par « microfiltration à froid » pour la débarrasser de ses bactéries, elle est conditionnée dans des ampoules de 10 ml, vendue environ 100 € le litre et se boit pure.

Selon Marc François Paya, directeur médical des laboratoires, ces petites ampoules auraient de nombreuses vertus. Elles activeraient notamment le système immunitaire et aideraient ainsi l'organisme à lutter contre les maladies. La preuve selon ses promoteurs ? Des globules blancs (ou lymphocytes T) cultivés *in vitro* dans de l'eau Quinton libèrent des molécules typiques d'une réaction immunitaire : le facteur de nécrose tumoral (TNF), l'interleukine 2 et l'interféron *gamma*.

Cet argument ne convainc pas Hans Hyssel, immunologiste, directeur de recherche à la Pitié-Salpêtrière (Paris). *« Cela n'a rien d'étonnant. L'eau de mer, même filtrée, contient encore des virus et des molécules qui vont déclencher une réaction des globules blancs. Mais cette réaction ne protège aucunement l'organisme contre les infections à venir. »* De plus, le TNF, molécule ponctuellement utile dans la lutte contre un pathogène car impliquée dans la réaction inflammatoire, *« doit être combattu car une inflammation ne doit pas durer. Faire produire du TNF par l'organisme ne représente donc pas un gain pour la santé »*, ajoute le chercheur.

> « Cela ne protège pas l'organisme contre les infections à venir »
>
> **Hans Hyssel,** immunologiste à la Pitié-Salpêtrière

En insuffisance rénale, le sel n'est pas conseillé

L'eau Quinton aurait d'autres propriétés selon ses promoteurs : elle permettrait de réduire le nombre de dialyses chez un patient insuffisant rénal, à en croire Marc François Paya dans une vidéo diffusée sur Internet*. Un « pouvoir » qui surprend Gilles Blancho, directeur de l'Institut de transplantation urologie-néphrologie du centre hospitalier universitaire de Nantes : *« Boire de l'eau, de surcroît salée, est exactement ce qu'il ne faut pas faire chez un dialysé. Car à chaque dialyse, il faudra retirer cette eau en excès. Cela rend l'opération d'autant plus éprouvante pour le patient. En plus, le sel favorise la rétention d'eau, ce qu'il faut aussi éviter. Sans oublier un risque accru d'hypertension artérielle. »* Certes, les volumes d'eau de mer avalés lors d'une cure Quinton sont faibles : 20 à 40 ml par jour. *« Dans ce cas, cela n'aura aucune influence sur la dialyse et donc aucun bénéfice »*, précise Gilles Blancho.

Sur leur site, les laboratoires Quinton affirment encore que leur thérapie marine montre une grande efficacité face aux maladies dans les domaines de la dermatologie, de l'allergologie, de la gastroentérologie, de la pédiatrie, etc. Malgré nos demandes, nous n'avons cependant pas pu obtenir la moindre publication scientifique démontrant que l'eau Quinton avait un réel effet bénéfique pour la santé. ■ **Olivier Hertel**

* sciav.fr/18uPflh

CONTEXTE Des traces d'ADN de l'une des deux femmes disparues à Perpignan ont été retrouvées par la police.

Comment réalise-t-on un test génétique ?

CRIMINOLOGIE Depuis le 14 juillet, Marie-Josée Benitez et sa fille Allison sont portées disparues à Perpignan. Le 26 août, la presse signalait que des traces ADN d'Allison auraient été découvertes dans le congélateur du domicile familial ainsi que dans le lave-linge de la caserne où son père, Francisco Benitez, s'est suicidé le 5 août. Mais ce constat n'implique pas nécessairement que le corps y ait été enfermé. La jeune femme a pu ouvrir le meuble, y éternuer, y perdre un cheveu ou un cil, ou encore en toucher les parois. En effet, grâce à de considérables progrès en matière de techniques d'analyse, la police peut, depuis une dizaine d'années, exploiter des traces génétiques infimes (sueur, simple frottement de la peau contre un mur...) et établir un profil génétique à partir de ces éléments très pauvres en ADN. Pour l'heure, impossible de connaître la nature de l'ADN retrouvé — *a priori* du sang —, les services d'information de la police nationale, interrogés par *Sciences et Avenir*, n'ayant pas souhaité donner de précisions.

MATTEIS/LOOKATSCIENCES

Exercice de recherche de sang sur une scène de crime.

Mais cette affaire illustre combien l'analyse génétique est devenue un élément clé dans la résolution des enquêtes. *« L'ADN représente, quantitativement, plus des trois quarts de l'activité des laboratoires de l'INPS (Institut national de la police scientifique), et l'activité biologie génétique emploie un tiers du personnel scientifique et administratif. Deux cent mille dossiers ont été traités en 2009 »*, chiffre Frédéric Dupuch, directeur de l'INPS dans son ouvrage *Nos Experts*. La principale raison est que l'ADN permet d'identifier quelqu'un avec une quasi-certitude. En effet, si l'on excepte le cas des « vrais » jumeaux (monozygotes), il n'y a qu'une chance sur cent milliards pour que deux personnes présen-

CONTEXTE Un premier hamburger a été créé en laboratoire à partir de cellules souches et dégusté début août en public à Londres.

Pourquoi fabriquer artificiellement de la viande ?

HISTOLOGIE Le premier hamburger créé entièrement en laboratoire à partir de cellules souches a été dégusté en public à Londres par deux volontaires, lundi 5 août. La pièce de viande est l'œuvre du Néerlandais Mark Post, de l'université de Maastricht. Ce professeur en physiologie vasculaire et en ingénierie des tissus et son équipe ont mis six semaines pour obtenir ce morceau de 142 grammes à partir de minuscules tranches de cellules animales cultivées en laboratoire. Coût : 250 000 € ! Ils y ont ajouté de la chapelure, du sel, de la poudre d'œuf ainsi que du jus de betterave et du safran pour le rendre mangeable. *« Notre burger est fabriqué à partir de cellules de muscle prélevées sur la vache. Rien n'a été modifié »*, précise Mark Post.

Ce projet est la continuation d'une recherche entamée en 2004 et financée à hauteur de 2 millions d'euros par le gouvernement des Pays-Bas. De nombreuses universités y ont collaboré. Celle d'Amsterdam s'est focalisée sur le substrat le plus efficace pour faire pousser les cellules ; celle

tent le même profil génétique. Et quelques nanogrammes d'ADN suffisent pour établir un profil. Pour ce faire, l'analyse va s'intéresser aux séquences variables de l'ADN qui permettent de faire la différence entre deux individus. Chaque cellule renferme en effet l'intégralité du patrimoine génétique d'une personne.

Les séquences d'ADN varient d'un individu à l'autre

Il se présente sous la forme d'un double brin d'ADN constitué d'une succession de quatre acides aminés (guanine, adénine, thymine, cytosine). De nombreux gènes, situés sur cet ADN, sont séparés par des fragments d'ADN satellites composés de séquences d'acides aminés très répétitives. Or, le nombre et la répartition de ces séquences varient d'un individu à l'autre, permettant de les distinguer.

Une fois ce matériel génétique prélevé sur les lieux du crime, il est ensuite copié en de nombreux exemplaires grâce à une opération appelée PCR (*polymerase chain reaction*). Il faut en effet une certaine quantité d'ADN pour réaliser les tests génétiques. D'où l'importance, pour le technicien qui effectue les prélèvements, de ne pas contaminer l'échantillon par un postillon ou un appui malheureux de la main contre la surface à analyser, sous peine d'amplifier également son propre ADN. L'établissement d'un profil génétique peut alors commencer. L'ADN est donc découpé par des enzymes de restriction. Cette opération permet d'isoler des portions d'ADN satellite, dont une quinzaine sont ensuite déposées au sommet d'un bloc de gel d'agarose (un polymère dérivé de l'agar-agar), que l'on soumet à un champ électrique. L'ADN étant chargé négativement, les séquences sont attirées par la borne positive, les fragments les plus petits se déplaçant plus rapidement à travers le gel. Les bandes qui se dessinent ainsi caractérisent le profil génétique d'un individu. Ces données sont ensuite enregistrées dans un fichier appelé Fnaeg (Fichier national automatisé des empreintes génétiques). ■

Erwan Lecomte

LE + NUMÉRIQUE
L'infographie de *Sciences et Avenir* sur l'analyse ADN d'une scène de crime
http://sciav.fr/1528jeK

d'Utrecht s'est intéressée aux techniques permettant d'isoler des cellules souches, avant de les faire proliférer puis de les transformer en cellules musculaires. Et l'université de Maastricht a mis au point une technique de stimulation électrique pour « muscler » les cellules ainsi extraites et cultivées.

Selon Mark Post, l'expérience est *« d'importance car le bœuf ainsi produit offre une solution à des problèmes majeurs que rencontre notre planète »*, en permettant de créer de la viande à volonté et sans dégâts majeurs sur l'environnement. Avec l'augmentation de la population mondiale, *« la demande en viande va doubler dans les quarante ans qui viennent. Aujourd'hui, nous utilisons 70 % de nos capacités agricoles pour produire de la viande »*, souligne le scientifique. Il ajoute que la fabrication de viande en laboratoire permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre résultant de l'élevage. *« Tant qu'on peut extraire des cellules souches, cette technologie peut être appliquée à d'autres animaux* [que la vache]. *: poissons, poulet, agneau... »*, explique-t-il, tablant sur un début de commercialisation d'ici dix à vingt ans. ■ **E. L.**

LE MOT DU MOIS

Genre

GETTY IMAGES

Les études sur la notion de « sexe social » sont en expansion.

Les « études de genre », qui ont intégré en 2011 les manuels scolaires, enquêtent depuis quarante ans sur les rapports sociaux entre les sexes et les codes qui façonnent les rôles masculins et féminins. *« Elles placent au cœur de leur approche la rupture avec l'essentialisme, dans le sillage du mot célèbre de Simone de Beauvoir selon lequel "on ne naît pas femme (il faudrait ajouter "ni homme"), on le devient »*, explique Laure Bereni, chercheuse au CNRS et enseignante à la New York University. Elles distinguent le « sexe biologique » (homme, femme, hermaphrodite, intersexué) de « l'orientation sexuelle » (attirance pour l'un ou l'autre sexe) et du « genre » (« sexe social »). Loin d'être une « théorie » venue des États-Unis et de prétendre qu'il n'existe pas de différences physiologiques entre les personnes *(lire* S. et A. *n° 780, février 2012)*, les études de genre intègrent les recherches des anthropologues et des ethnologues, qui ont montré que les statuts et les rôles attribués aux hommes et aux femmes n'étaient pas les mêmes d'une société à l'autre ; celles des sociologues et psychologues, qui ont mis en évidence le caractère socialement construit des différences entre le masculin et le féminin ; et celles des historiens, qui ont confirmé les grandes variations à travers le temps. Après Nicole-Claude Mathieu ou Michel Foucault, qui ont conduit cette réflexion au sein du CNRS, à l'EHESS et à l'université Paris-VIII, des centaines de chercheurs y travaillent en France, notamment à l'Institut Émilie-du-Châtelet. *« Ces études se heurtent toujours à de puissants discours qui rapportent les différences perçues et la hiérarchie entre les hommes et les femmes à un invariant naturel »*, souligne Laure Bereni. ■ Rachel Mulot

Par Henri-Pierre Penel

Les mutants de la mobilité

À mi-chemin entre smartphones et tablettes, les phablettes cumulent les fonctionnalités. Dotées d'un vaste écran, elles tentent d'associer mobilité, encombrement réduit et confort de vision. Ces promesses sont-elles tenues ?

Qu'est-ce qu'une « phablette » ?

Avec les tablettes, les utilisateurs se sont habitués au confort d'un vaste écran pour surfer, jouer ou répondre à leurs courriels. Le petit écran des smarpthones a vite semblé étriqué. Les phablettes — contraction de « téléphone » et « tablette » — sont alors apparues sur le marché, tentant de cumuler les avantages des deux avec des écrans dont la diagonale atteint 16 cm.

Pourquoi les choisir ?

Leur intérêt majeur réside dans le confort de vision pour la navigation sur Internet et la lecture des vidéos. En revanche, elles sont plus encombrantes qu'un smartphone conventionnel, ont du mal à tenir dans une poche, et sont assez peu pratiques pour téléphoner.

La lisibilité est-elle bonne ?

Les phablettes disposent d'écrans de dernière génération, souvent fondés sur la technologie Oled. L'image est plus contrastée et les couleurs plus vives.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

La technologie Oled offre une grande lisibilité des caractères, même en plein soleil.

Ainsi, l'écran reste parfaitement lisible, même en plein soleil. Par ailleurs, leur résolution est beaucoup plus élevée. Full HD, elle atteint 1920× 1080 pixels, contre 320 × 240 pixels pour un smartphone de base. Le rendu est donc excellent, proche de celui d'un tirage photo. La lisibilité des caractères les plus petits est également assurée.

Faut-il opter pour une forte capacité mémoire ?

Une capacité élevée (32 ou 64 Go) est intéressante pour les cinéphiles qui souhaitent ne jamais se séparer de leur vidéothèque et les inconditionnels de jeux vidéo. En revanche, pour réceptionner les courriels et naviguer sur Internet, 16 Go de mémoire suffisent. Certaines phablettes disposent d'un lecteur de carte microSD, ce qui permet d'accroître leur capacité mémoire jusqu'à 64 Go. Il suffit pour cela d'insérer une carte mémoire.

Quel système d'exploitation retenir ?

Apple n'ayant pas encore commercialisé de phablette, deux systèmes d'exploitation sont disponibles : Android ou Windows Phone 8, aux fonctionnalités proches. À noter que les habitués

des PC pourront avoir une préférence pour l'ergonomie Windows Phone 8, conçue par Microsoft, proche de celle de leur ordinateur. Le choix du système d'exploitation détermine aussi les services associés. Sous Android, ils sont essentiellement liés à Google. Ainsi, les téléchargements de logiciels se font par Google Play et le partage des données sur le Cloud par Google Drive, etc.
Sous Windows Phone 8, ce sont les services et produits de Microsoft qui seront privilégiés. À noter que — comme dans le cas des smartphones —, il est généralement nécessaire de disposer d'un « compte » lié à l'un ou à l'autre pour bénéficier pleinement des possibilités d'une phablette (Gmail pour Google, Xbox ou Hotmail pour Microsoft).

L'autonomie est-elle bonne ?

L'accroissement de la taille de la batterie permet de la doter d'une plus forte capacité *(voir l'infographie)*. Néanmoins, l'autonomie du téléphone est liée à l'usage qui en est fait. Toutes les phablettes disposent d'un mode « économie » qui réduit la luminosité de l'écran ainsi que la durée d'éclairage. Cependant, on peut aussi couper les transmetteurs Wi-Fi et Bluetooth ou verrouiller l'appareil en mode 2G s'il est temporairement utilisé pour les appels vocaux.

2G, 3G, H+, 4G quels débits et quelle couverture ?

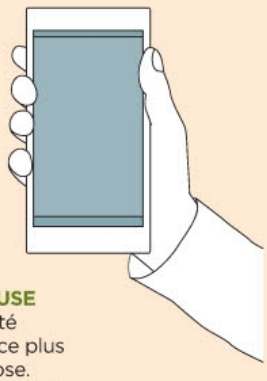
Grâce à leur grand écran, les phablettes sont idéales pour se connecter aux services de vidéo à la demande. À condition de disposer d'un débit suffisant sur le réseau de téléphonie mobile. Les différents protocoles ont ainsi pour vocation d'accroître globalement les débits.
La 2G correspond à la norme GSM standard. Elle est davanatge destinée à l'acheminement de conversations qu'aux échanges numériques. Son débit plafonne à environ 9 kilobits par seconde. La 3G dispose déjà d'un débit plus élevé. Il atteint 384 kbits/s en zone urbaine. En liaison H+, également appelée « Dual Carrier », ce débit peut atteindre jusqu'à 10 mégabits par seconde. Enfin, avec l'arrivé de la 4G, les 100 Mbits/s devraient être atteints.
Reste que, tous ces réseaux ne sont pas disponibles sur l'ensemble du territoire. Si la 2G est généralisée, la 3G souffre encore de nombreux trous de couverture et la 4G n'est qu'en cours de déploiement.

Des nouveaux services plus ou moins indispensables

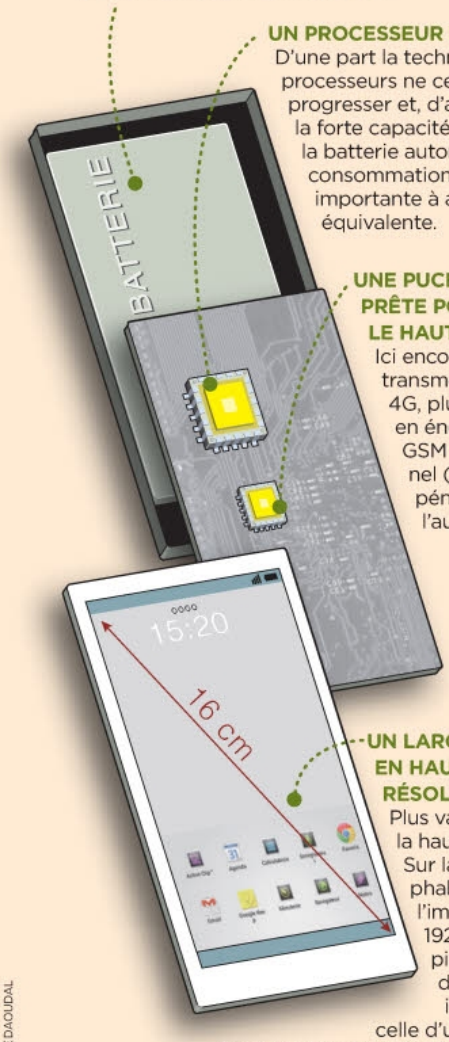
Les phablettes tentent de multiplier les atouts pour séduire. Des innovations qui peuvent avoir leur utilité.

Sur les phablettes, l'heure est à la surenchère entre marques concurrentes. Certaines fonctions, comme les écrans « double mode » proposés par Samsung, apportent un « plus ». Les commandes sont tactiles mais on peut avoir recours à un stylet pour prendre des notes. Nokia, pour sa part, innove franchement en lançant la recharge de ses équipements par induction. Il suffit de poser la phablette sur un petit coussin raccordé au secteur pour qu'elle se recharge sans contact. Un service dont il est effectivement difficile de se passer lorsque l'on en a pris l'habitude. En revanche, la mise en pause de la lecture d'un film quand on détourne le regard de l'écran, fonction proposée par Samsung, est plus discutable.

Une plus grande taille pour plus de puissance



UNE BATTERIE GÉNÉREUSE
Elle dispose d'une capacité importante grâce à la place plus généreuse dont elle dispose. Un point lié à l'accroissement de la taille qu'impose le vaste écran.



UN PROCESSEUR PUISSANT
D'une part la technologie des processeurs ne cesse de progresser et, d'autre part, la forte capacité de la batterie autorise une consommation plus importante à autonomie équivalente.

UNE PUCE 4 G PRÊTE POUR LE HAUT DÉBIT
Ici encore, les transmetteurs 3G et 4G, plus gourmands en énergie que le GSM conventionnel (2G), ne pénalisent plus l'autonomie.

UN LARGE ÉCRAN EN HAUTE RÉSOLUTION
Plus vaste, il passe à la haute résolution. Sur la plupart des phablettes l'image compte 1920 x 1080 pixels soit une définition identique à celle d'un téléviseur de salon de 1,20 m. Il en résulte une excellente lisibilité des caractères les plus fins.

SYLVIE DAOUDAL

Banc d'essai pages suivantes ▶

LES PHABLETTES

Marque et modèle	Huawei ASCEND MATE	Samsung GALAXY MEGA	LG OPTIMUS G PRO
Prix (1)	369 €	499 €	599 €
Diagonale de l'écran	LCD IPS 6,1" (155 mm)	TFT 6,3" (160 mm)	LCD IPS 5,5" (134 mm)
Définition	1280 × 720 pixels	1280 × 720 pixels	1920 × 1080 pixels
Système d'exploitation	Android 4.1 Jelly Beam	Android 4.2.2 Jelly Beam	Android 4.1.2 Jelly Beam
Processeur	Quadruple cœur à 1,5 GHz	Double cœur à 1,7 GHz	Quadruple cœur SnapDragon 600 à 1,7 GHz
Réseaux mobiles gérés	2G GPRS/EDGE, 3G HSPA+, UMTS	2G GPRS/EDGE, 3G HSPA+, 4G LTE	2G GPRS/EDGE, 3G HSPA+, 4G LTE
Bluetooth	Oui, 4.0	Oui, 4.0	Oui, 3.0
Wi-Fi	802.11b/g/n	802.11a/b/g/n/ac et Wi-Fi direct	802.11a/b/g/n/ac et Wi-Fi direct
Mémoire interne	8 Go interne	8 Go interne + carte SD 4 Go fournie	16 Go interne
Lecteur de cartes SD	Oui, jusqu'à 64 Go	Oui, jusqu'à 64 Go	Oui, jusqu'à 64 Go
Appareil photo	8 mégapixels	8 mégapixels	13 mégapixels
Lecture vidéo	Oui	3GP, AVI, MPEG4, WMV, FLV, MKV, WebM	H.263, H.264, MPEG4, XviD, 3GP, 3G2
Lecture Audio	Oui	MP3, AMR, AAC, AAC+e, eAAC+, WMA, ORG, FLAC	MP3, AAC, AAC+, eAAC+, WAV
GPS	Oui, A-GPS	Oui, A-GPS	Oui, A-GPS
Connectique	Micro USB 2, casque mains libres jack 3,5 mm	Micro USB 2, casque mains libres jack 3,5 mm	Micro USB 2, casque mains libres jack 3,5 mm
NFC	Non	Oui	Oui
Batterie	Lithium-ion 4050 mAh	Lithium-ion 3200 mAh	Lithium-ion 3140 mAh
Autonomie	28 h en communication (en 3G)	17 h en communication	Non précisé
Dimensions	163,5 × 85,7 × 9,9 mm	167,6 × 88 × 8 mm	150,2 × 76,1 × 9,4 mm
Poids	198 g	199 g	172 g
Les plus	**Recharge rapide de la batterie, prix**	**Carte micro SD et adaptateur fournis, nombreux logiciels préinstallés**	**Qualité de l'écran, recharge par induction**
Nos commentaires	L'écran tactile peut être utilisé en portant des gants. Un atout en hiver pour décrocher rapidement ou surfer sur le Web par grand froid. Enfin, le clavier peut être « redimensionné » afin de l'utiliser avec le pouce tout en tenant le téléphone d'une seule main.	Grâce à son vaste écran cette phablette est nettement orientée jeu vidéo. Par ailleurs, elle bénéficie de l'une des toutes dernières versions d'Android. Samsung l'a également dotée d'une interface utilisateur offrant de nombreuses fonctionnalités spécifiques et lui conférant une bonne ergonomie.	Un appareil parfait pour les amateurs de films et, plus généralement, de multimédia grâce à son écran réellement full HD. Réactif et évolutif, grâce à son extension de mémoire par carte micro SD, il dispose d'un petit « plus » original : il est possible de paramétrer l'écran pour qu'il reste éclairé tant que l'utilisateur le regarde.

(1) Les prix indicatifs mentionnés correspondent au prix du téléphone seul, compatible avec toute offre d'abonnement. Il s'agit d'un prix hors offre opérateur soumise à une durée d'engagement.

Nokia LUMINA 925	Sony XPERIA Z ULTRA
599 €	729 €
AMOLED 4,5" (114 mm)	TFT 6,44" (164 mm)
1280 × 768 pixels	1920 × 1080 pixels
Windows Phone 8	Android 4.2 Jelly Beam
SnapDragon double cœur à 1,5 GHz	MSM8974 quadruple cœur à 2,2 GHz
2G GPRS/EDGE, 3G HSPA+, 4G LTE	2G GPRS/EDGE, 3G HSPA+, 4G LTE
Oui, 3.0	Oui, 4.0
802.11a/b/g/n et Wi-Fi direct	802.11a/b/g/n/ac et Wi-Fi direct
16 Go + 7 Go offerts sur SkyDrive	16 Go interne
Non	Oui, jusqu'à 64 Go
8,7 mégapixels	8 mégapixels
Oui	Oui
Oui	Oui
Oui, A-GPS	Oui, A-GPS
Micro USB 2, casque mains libres jack 3,5 mm	Micro USB 2, casque mains libres jack 3,5 mm
Oui	Oui
Lithium-ion 2000 mAh	Lithium-ion
12,8 h en communication (en 3G)	16 h en communication
129 × 70,6 × 8,5 mm	179 x 92 × 6,5 mm
139 g	212 g
Qualité des photos et écran AMOLED, recharge par induction	**Taille et qualité de l'écran, étanche et résistant aux chocs**
Particulièrement soignée, la section photo est dotée d'une optique Carl Zeiss et d'un stabilisateur. Le capteur bénéficie aussi d'une excellente sensibilité en faible lumière. Point non négligeable pour le GPS, Nokia propose le téléchargement gratuit de la cartographie détaillée de la plupart des pays du monde.	La plus grande des phablettes que nous ayons testées. À noter que si cette diagonale d'image, associée à la haute résolution de l'écran, est un indéniable atout pour regarder des films, par exemple, ces dimensions pénalisantes quand il s'agit de le glisser dans une poche.

iUSBport Camera HyperDrive

Appareil photo contrôlé à distance

L'iUSBport Camera, que propose HyperDrive, est un petit boîtier compatible avec la plupart des reflex Canon et Nikon. Grâce à son transmetteur Wi-Fi, il propose de visualiser en temps réel sur une tablette ou un smartphone les images que prend l'appareil mais aussi de le contrôler à distance, dans un rayon d'une centaine de mètres.

299 €

Travelstar 5K1500 HGST

Disque dur très haute capacité

HGST, filiale de Western Digital, se spécialise dans la production de disques durs de très haute capacité. Déjà son modèle Travelstar 5K1500 dispose d'une capacité de 1,5 To (téraoctet) sous un format 2,5 pouces, type disque dur nomade. Pour aller encore plus loin, le constructeur va remplacer l'air à l'intérieur du boîtier étanche du disque par de l'hélium. La faible densité de ce gaz permettrait d'accroître fortement le rapport capacité/taille des futurs disques tout en réduisant leur consommation électrique.

Prix non fixé

WattBomb Novodio

Enceintes nomades

Cette paire d'enceinte Bluetooth WattBomb de Novodio a tout pour séduire. Les deux éléments, maintenus ensemble par un jeu d'aimants, se séparent pour une meilleure stéréo. Même si sa puissance modeste (2 x 2 W) n'en fait pas une chaîne Hi-Fi d'appoint, son autonomie sur batterie de 6 h la transforme une compagne efficace pour écouter en tout lieu ses musiques favorites.

39,90 €

LE CIEL D'OCTOBRE

Par Guillaume Cannat

Où sont les planètes ?

MERCURE n'est pas observable aux latitudes européennes. Elle atteint pourtant son élongation maximale le 9 à plus de 25° du Soleil, mais l'inclinaison de sa trajectoire nous empêche de la repérer à l'œil nu dans le ciel du soir.

VÉNUS est visible le soir au-dessus de l'horizon sud-ouest. Elle se couche près d'une heure et demie après le Soleil le 1er et deux heures après le 31. Son élongation solaire augmente tout au long du mois, tout comme son éclat (magnitude -4,4). Vénus est facile à repérer à l'œil nu, même en pleine ville : une heure après le départ du Soleil, elle se situe entre 5° et 8° de hauteur.

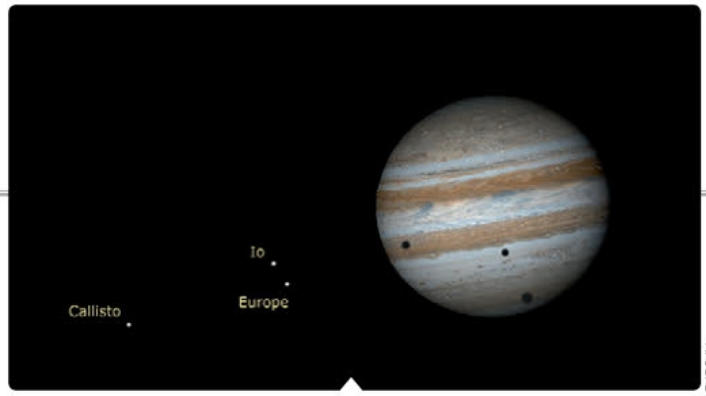
MARS est dans le Lion. Elle se lève quatre heures avant le Soleil le 1er et plus de cinq heures avant le 31. Elle est facile à repérer à l'aube non loin de Régulus. Avec un télescope, vous pouvez chercher la comète Ison qui passe les trois premières semaines d'octobre à moins de 2° de Mars. Elle n'est pas encore très brillante, mais elle devrait nous offrir un beau spectacle en novembre-décembre.

JUPITER se lève dans les Gémeaux un peu plus de cinq heures après le coucher du Soleil le 1er et de quatre heures après le 31. Elle est parfaitement située pour l'observation aux instruments en seconde partie de nuit, et son éclat comme son diamètre apparent ne cessent d'augmenter.

SATURNE disparaît dans la clarté du ciel crépusculaire en début de mois.

Où est l'ISS ?

LA STATION spatiale internationale est visible à l'œil nu en fin de nuit jusqu'au 3, puis elle s'absente quelques jours et elle revient en début de nuit à partir du 7. Jusqu'à deux passages par jour sont observables en France métropolitaine. Pour obtenir des horaires de passages précis pour n'importe quel point d'observation, consultez ce site : www.leguideduciel.net/on2013/



Trois lunes galiléennes projetteront leur silhouette sur la planète géante.

Trois ombres sur Jupiter

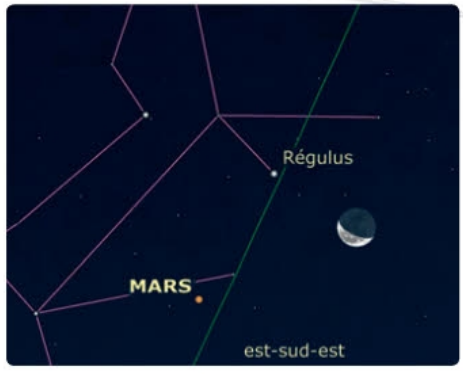
LE SAMEDI 12 OCTOBRE, AVANT L'AUBE, il faut un instrument de 100 à 200 mm de diamètre au minimum pour observer un phénomène très rare : entre 6 h 30 et 7 h 30 (heure légale), Io, Europe et Callisto, trois des plus grosses lunes de Jupiter, projettent simultanément leur ombre sur le disque de la planète géante. Jupiter est très bien située dans la constellation des Gémeaux, à près de 60° de hauteur au-dessus de l'horizon sud-est.

ÉCLIPSE OBSERVEZ L'ÉCLAT

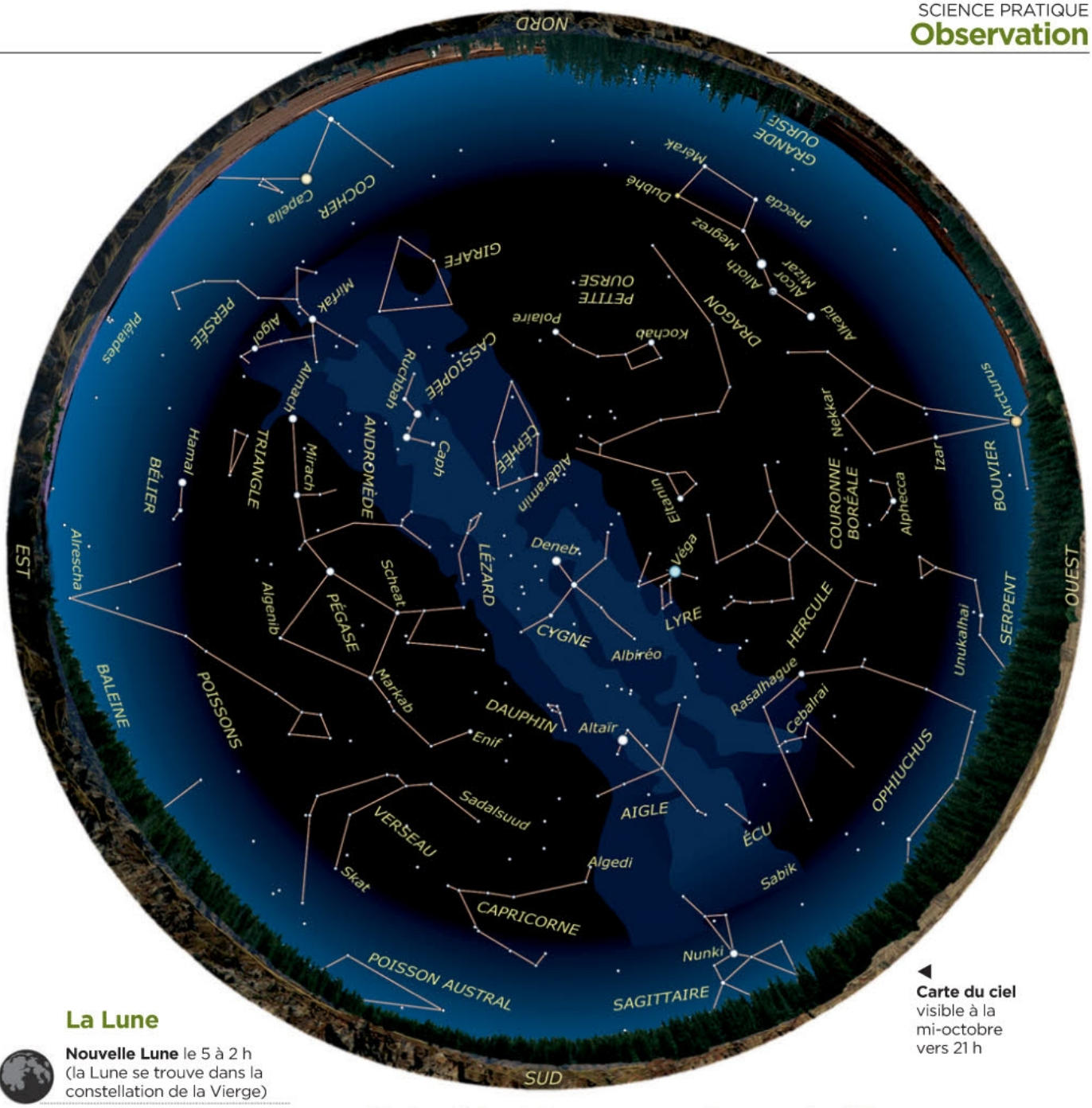
de la pleine Lune durant la nuit du vendredi 18 au samedi 19, vous constaterez qu'il n'est pas aussi éblouissant que d'habitude. Séléné frôle en effet l'ombre de la Terre un peu avant 2 h du matin et s'enfonce à plus de 75 % dans la pénombre de notre planète.

LE 8, UNE HEURE APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL Le croissant lunaire s'approche de Vénus dans le ciel du soir. Les deux astres sont visibles au-dessus de l'horizon sud-ouest à près de 4° d'écart.

LE 16, UNE HEURE APRÈS LE DÉPART DU SOLEIL Il faut un ciel limpide vers l'horizon sud-ouest pour distinguer le point rouge orangé de l'étoile Antarès du Scorpion juste en dessous de Vénus.



LE 29, DEUX HEURES AVANT LE LEVER DU SOLEIL Un gros croissant lunaire rend visite à Régulus, l'étoile principale du Lion, et à la planète Mars, loin au-dessus de l'horizon est-sud-est.



Carte du ciel visible à la mi-octobre vers 21 h

La Lune

Nouvelle Lune le 5 à 2 h (la Lune se trouve dans la constellation de la Vierge)

Premier quartier le 12 à 1 h (Sagittaire)

Pleine Lune le 19 à 1 h (Poissons)

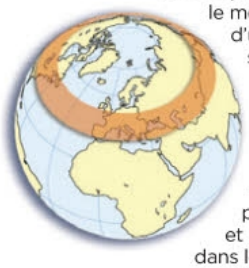
Dernier quartier le 27 à 1 h (Cancer)

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er octobre	7 h 50	19 h 29
31 octobre	7 h 36	17 h 31

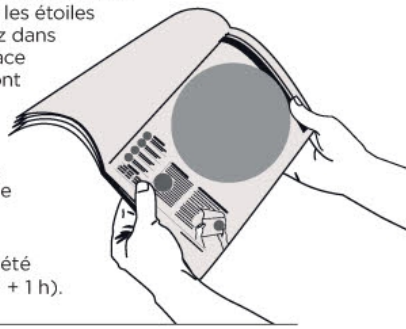
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 45° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 38 à 52° de latitude nord. L'étoile Polaire sera plus haute dans le ciel si vous êtes à plus de 45° nord, et plus basse dans le cas contraire.



Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Tous les instants de cette rubrique sont exprimés en heure légale d'été (temps universel + 2 h) jusqu'au 27, puis en heure légale d'hiver (TU + 1 h).

EXPOSITIONS

Bozoul (12)

Changements climatiques : comment sait-on ce que l'on sait ?
Une exposition destinée à toute la famille pour faire un point sur les modifications climatiques actuelles et leurs causes.
Terra Memoria, 12, allée Paul-Causse, jusqu'au 15 novembre.
Rens. : 05.63.44.69.27.

Paris (75)

Angkor : naissance d'un mythe
Les origines du mythe d'Angkor, tel que l'Europe, et tout particulièrement la France, l'a construit à la fin du XIXe et au début du XXe siècle. *(Lire aussi p. 50.)*
Musée Guimet, 6, place d'Iéna, du 16 octobre au 13 janvier 2014.
Rens. : 01.56.52.53.00.

Étrusques
Cette civilisation a évolué, entre le IXe siècle et le IIe siècle avant J.-C., sur un territoire qui correspond à l'actuelle péninsule italienne. Émules et rivaux des Grecs, ils sont ici présentés au travers de 250 œuvres dans leur vie quotidienne.
Musée Maillol, 61, rue de Grenelle, jusqu'au 9 février 2014.
Rens. : 01.42.22.59.58.

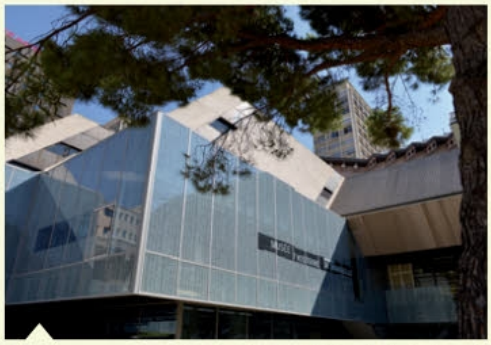
PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Mille milliards de fourmis

Elles seraient même plus d'un million de milliards sur Terre, réparties en près de 15 000 espèces. Qui ça ? Les fourmis ! La scénographie de cette exposition proposée en partenariat avec *Sciences et Avenir* projette le visiteur à l'échelle des insectes pour lui faire découvrir leur morphologie, leur système social ou encore le comportement collectif. Le récit de la visite dans un prochain numéro.
Palais de la Découverte, avenue Franklin-Roosevelt, du 15 octobre au 31 août 2014.
Rens. : 01.56.43.20.20.

Marseille (13)

Le nouveau musée d'Histoire



VILLE DE MARSEILLE

Dans un espace de plus de 15 000 m², le visiteur découvrira la vie maritime de la ville depuis 2600 ans.

Avec sa façade en verre sérigraphié qui ouvre sur le site archéologique du port antique, le nouveau musée d'Histoire de Marseille s'inscrit dans la tradition maritime de la ville. Dessiné par l'architecte Roland Carta, *« il déroule l'histoire de la cité phocéenne depuis sa création, il y a 2600 ans »*, explique Laurent Védrine, le conservateur. *« Nous avons choisi comme fil d'Ariane la mer*, poursuit-il. *Aussi, dans chacune des 13 séquences historiques, le visiteur entre-t-il par le port vers un objet phare. »* Parmi ces pièces remarquables, deux épaves de navires grecs, la reconstitution d'une église paléochrétienne avec plusieurs tombes ou une immense maquette de la ville en 1848, avant la grande mutation haussmannienne. Bonne nouvelle pour les touche-à-tout, ils pourront manipuler des sceaux sur des matériaux à mémoire de forme, reconstruire la cité radieuse de Le Corbusier ou tapoter sur les écrans présents tout au long du parcours. Autre innovation : une application de réalité augmentée à télécharger sur smartphones ou tablettes. Elle permet de reconstituer le site du port antique et d'autres monuments. *« Le niveau de représentation est fonction de la connaissance scientifique*, explique Xavier Boissarie, qui a conçu ce projet. *Plus on a d'informations, plus l'image est précise. »* Après la visite, les plus courageux peuvent s'engager sur la Voie historique de Marseille qui propose un parcours en 11 étapes vers le fort Saint-Jean et le MuCEM. ■ **Joël Ignasse**

Musée d'Histoire de Marseille, centre Bourse, square Belsunce, 2, rue Henri-Barbusse.
Rens. : 04.91.55.36.00.

Nuit
Un périple au cœur de la nuit, dans une forêt avec ses habitants nocturnes et une exploration des aspects astronomiques, comportementaux, biologiques et imaginaires de la nuit.
Grande Galerie de l'évolution, 36, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, à partir du 9 octobre.
Rens. : 01.40.79.54.79.

Rennes (35)

Parce queue
Une exposition consacrée à l'histoire naturelle et culturelle de la queue imaginée par le muséum d'Histoire naturelle de Neuchâtel (Suisse) et complété par des spécimens du muséum de Nantes. Le tour d'horizon des fonctions de cet appendice (outil de communication, de déplacement, de protection, etc.), évoque aussi l'être humain : trois petites vertèbres soudées entre elles, et dont la fonction fait toujours l'objet de débats.
Espace des sciences, 10, cours des Alliés, jusqu'au 16 mars 2014.
Rens. : 02.23.40.66.00.

Saint-Étienne (42)

Mémoire/s
La découverte de la mémoire au travers de cinq thèmes : le fonctionnement du cerveau, les différents types de mémoire, les anomalies de la mémoire, la mémoire chez d'autres animaux, la mémoire informatique.
CCSTI la Rotonde, École nationale supérieure des mines, cours Fauriel, du 7 octobre au 7 mars 2014.
Rens : 04.77.42.02.78.

Toulouse (31)

Ours, mythes et réalités
Un parcours autour de plusieurs thématiques — culture, nature et société — pour découvrir les huit espèces d'ours existant dans le monde, leurs relations avec l'homme. L'ourse Cannelle, naturalisée, sera présentée pour la première fois au public.
Muséum, 35, allée Jules-Guesde, du 11 octobre au 30 juin 2014.
Rens. : 05.67.73.84.84.

CONFÉRENCES

Paris (75)

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Bousculer les frontières
Cycle de conférences autour de différents thèmes : astrophysique ; les frontières de l'exploration spatiale ; la frontière entre physique classique et physique quantique ; le calcul quantique ; l'insomnie.
Palais de la Découverte et Cité des sciences. Programme complet sur : www.cite-sciences.fr/fr/conferences-du-college

Toulouse (31)

La Novela
Cinquième édition de cette manifestation au cours de laquelle plus de 400 rencontres sont organisées avec des chercheurs, enseignants, artistes..., une soirée avec les « novélisés » de la recherche toulousaine ou encore la présentation du projet « Passions Gaïa » par le sociologue Bruno Latour.
Du 27 septembre au 13 octobre. www.fete-connaissance.fr/?cadre=festival-la-novela

ET AUSSI...

Pariscience
Le festival international du film scientifique mettra en compétition 13 films cette année.
Muséum national d'histoire naturelle, du 3 au 8 octobre. Renseignements et inscriptions : www.pariscience.fr

Fête de la science
Le grand rendez-vous annuel entre chercheurs et citoyens aura pour thème « De l'infiniment grand à l'infiniment petit ».
Du 9 au 13 octobre. Programme sur www.fetedelascience.fr

Les Eyzies-de-Tayac (24)

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Un château hanté par la préhistoire

Vous aimez les châteaux, les os de renne et les bifaces préhistoriques ? Ce film devrait vous plaire. Il sera présenté en avant-première dans la vallée de la Vézère où fut retrouvé notre ancêtre Cro-Magnon. Réalisatrice du *Dernier Paysan préhistorien* (plusieurs fois primé) que nos lecteurs avaient pu découvrir en DVD en juin 2011, Sophie Cattoire a rencontré, pour ce deuxième opus d'une trilogie, deux passionnés d'un genre nouveau. L'un, Claude Douce, publicitaire renommé, préserve en son château-musée de Sauveboeuf à Aubas une collection exceptionnelle. L'autre, Jean-Luc Piel-Desruisseaux, chirurgien de profession, s'efforce, en passionné d'outils, d'aider le premier à répertorier et numériser grattoirs et vénus paléolithiques, os gravés ou percuteurs... En prime, d'envoûtantes images du Périgord noir pour ce film dont *Sciences et Avenir* est partenaire. ■ **D. J. L.**

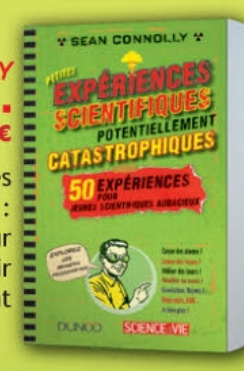
VINCENT LESBROS - FERRASSIE TV

La passion de deux hommes pour les objets paléolithiques.

Pôle International de la préhistoire, le 13 octobre à 15 h 30. Rens : 05.53.06.06.97. Le 17 octobre: soirée ciné rencontre au cinéma Rex, à Sarlat, 20 h 30; 20 octobre, à Montignac soirée ciné rencontre au cinéma Vox, 17 h.

VARIEZ LE PLAISIR DES SCIENCES

R. L. WOLKE
9782100702107 ■ 296 pages ■ 14,90 €
Le best-seller des mystères étonnants du monde de la physique qui nous entoure



S. CONNOLLY
9782100702077 ■ 320 pages ■ 14,50 €
Pour les scientifiques en herbe : 50 expériences pour découvrir la science en s'amusant

R. HAUMONT
9782100702084 ■ 184 pages ■ 14,50 €
Révolutionner nos traditions culinaires et créer de nouvelles sensations gustatives, en associant plaisir, bien-être et santé !

R. PINEAU
9782100701216 ■ 128 pages ■ 5,50 €
300 citations sérieuses, profondes ou drôles, célèbres ou méconnues pour tous les amoureux des sciences

www.dunod.com
DUNOD
ÉDITEUR DE SAVOIRS

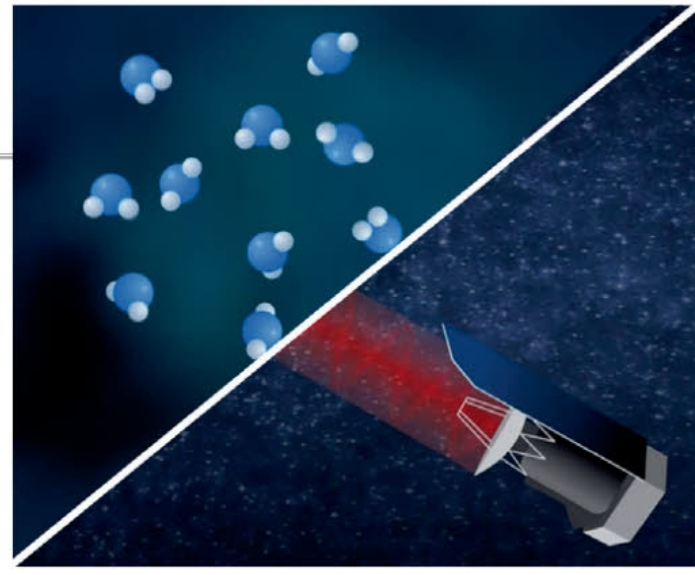
L'INFO SCIENTIFIQUE EN CONTINU
sciencesetavenir.fr
DISPONIBLE SUR IPHONE/ IPAD, ANDROID ET TOUS LES SMARTPHONES

TENDANCE 2.0

Le « cocon d'Amazonie » n'a pas révélé son mystère. Cette étrange structure de 2 cm de diamètre *(photo ci-dessous)* a été photographiée dans la partie péruvienne de la forêt amazonienne. L'auteur du cliché, Troy

TROY ALEXANDER/TAMBOPATA RESEARCH CENTER

Alexander, l'a posté sur Facebook dans l'espoir que quelqu'un l'aiderait à comprendre quel animal ou végétal en était l'auteur. Las ! cet appel à témoin n'a pour l'instant débouché sur aucune certitude, comme nous le racontons sur le site de *S. et A.* (sciav.fr/17sTbXB). Autre bizarrerie, la gluante créature tubulaire de la mer de Corail a, elle, été promptement identifiée par l'Australian Museum. Pour le savoir rendez-vous sur : sciav.fr/14FnVFc



DAMIEN HYPOLITE

Herschel scrute la naissance des étoiles

INFOGRAPHIE. *Sciences et Avenir* poursuit, en infographie vidéo, l'explication des découvertes fondamentales réalisées par le satellite Herschel, lancé dans l'espace en mai 2009 et qui n'est plus opérationnel depuis avril 2013. Ce télescope placé en orbite autour de la Terre a permis d'engranger quantité de données pour mieux comprendre les mécanismes de formation des étoiles : sa mission consistait en effet à observer les nuages moléculaires, ces gigantesques pouponnières où apparaissent les « bébés » que sont les protoétoiles. sciav.fr/15WYdIR

LES ARTICLES LES PLUS LUS

PASSAGE SECRET DANS GOOGLE MAPS

Insolite. En cliquant sur une cabine téléphonique située à Londres, on se retrouve dans le vaisseau spatial du docteur Who ! sciav.fr/152IwiR

L'ISS CROISE UN OVNI

Espace. L'objet filmé à travers un hublot de la Station spatiale internationale par l'astronaute Chris Cassidi s'est révélé être un simple débris d'antenne. sciav.fr/16mKmy9

GENTIL PAPA, PETITS TESTICULES ?

Décryptage. Une étude menée par des anthropologues américains sur 70 hommes associe taille des testicules et comportement du père. Mais le raisonnement est bancal : l'analyse de *S. et A.* sciav.fr/1fZIHUO

RETROUVEZ-NOUS SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX

NASA/WALLOPS/MID-ATLANTIC REGIONAL SPACEPORT

IMAGE. LA GRENOUILLE QUI DÉCOLLE

À en juger par cette photo, l'amphibien était vraiment trop proche de la rampe de lancement lors du décollage de la sonde américaine Ladee. sciav.fr/18SbWXd

OLIVIER LASCAR

DESSIN SUR LE BLOG sciav.fr/1f0HQ8H

SCIENCES ET AVENIR

VIDÉO. UNE INFO POUR L'APÉRO

La vidéo du week-end *made in S. et A.* qui explique pourquoi les tentacules du poulpe, même coupés, continuent à bouger. sciav.fr/15pgxRY

CAHIER EXPERT SCIENCES AVENIR

REQUINS

un animal en danger

avec le

Musée océanographique de Monaco

© Thierry Ameller

Cauchemar

© D.R.

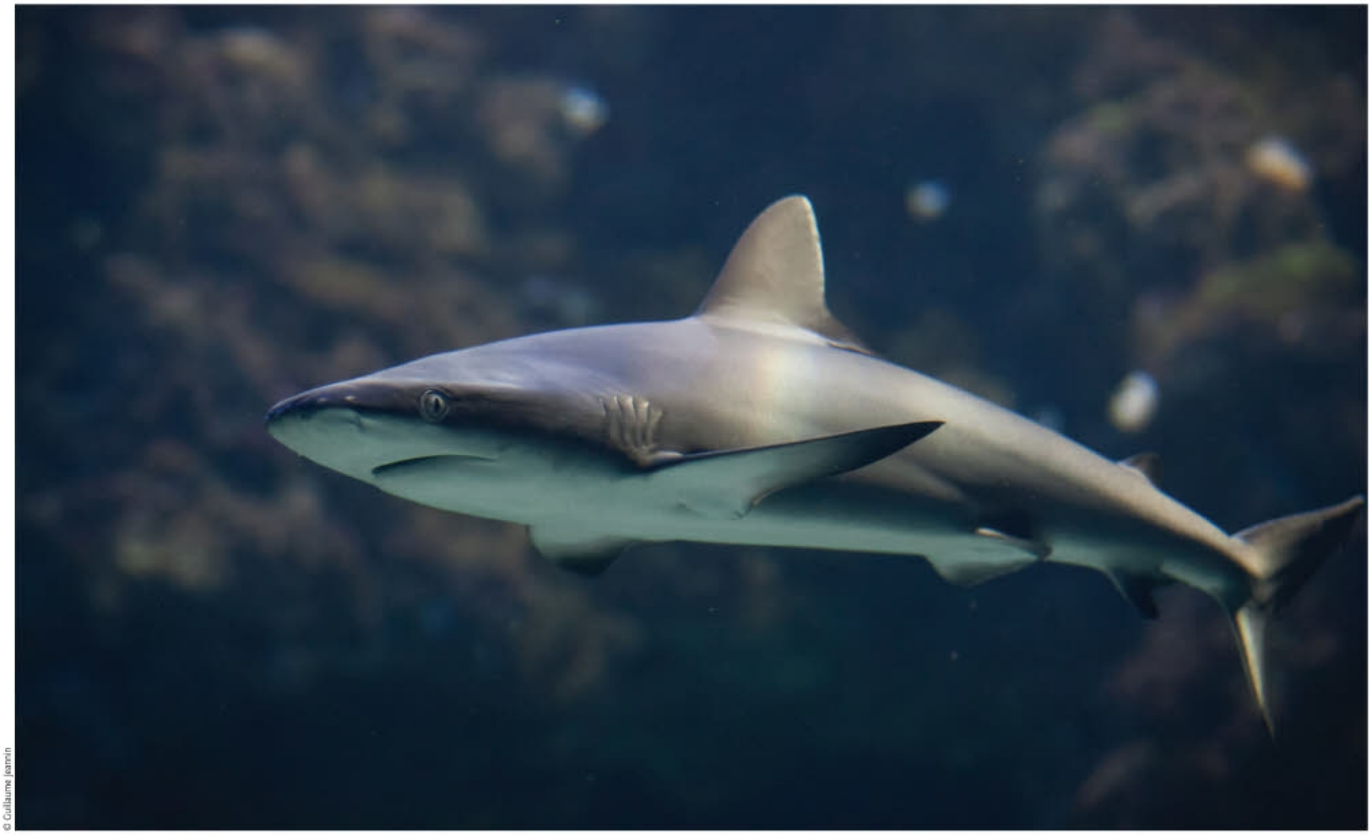
Dominique LEGLU
Directrice de la rédaction de Sciences et Avenir

On a tous connu ça ou presque. Plein été, grand beau, mer turquoise, plage en pente sur une eau transparente quand soudain, cette appréhension : n'y aurait-il pas quelque aileron à l'horizon ? Car on a tous vu (ou presque) Les Dents de la mer, le célèbre film de Steven Spielberg. Le monstre qui surgit des flots et s'acharne sur ses victimes en a traumatisé plus d'un(e). Il en est devenu mythique, à l'égal de la Tarasque ou de la bête du Gévaudan ! Seulement voilà, les peurs et fantasmes - qu'il s'agisse du loup, de l'ours ou du requin - butent aujourd'hui sur le mur de la réalité. Les victimes, ce sont eux, tombant sous les coups des hommes, incommensurablement plus que l'inverse. Qu'on ne se méprenne pas. Nul dédain ici pour les malheureux qui ont succombé face aux squales, et dont les proches ne peuvent oublier la souffrance ou la mort, mais un constat : la vision d'une espèce mauvaise, nuisible, voire à éradiquer est dépassée. Depuis des décennies, la biologie a permis de comprendre que le règne animal et plus largement, tout le vivant, n'était qu'un vaste réseau interactif. Les espèces étaient vues jadis – et sont encore représentées, comme des entités isolées. Or, ce qui importe, ce sont les écosystèmes. Un mot qui demeure opaque et souvent mal compris, surtout par ceux qui ne veulent rien entendre à l'écologie, même scientifique. En trois mots comme en cent, tout se tient. En l'occurrence, le requin, animal de tous les cauchemars, doit être vu comme au sommet d'une pyramide interactive – à l'instar du lion dans la savane. Il fait le ménage des cadavres et des organismes affaiblis, quand de paisibles et gentils lamantins broutent le fond des mers et de petits labres nettoyeurs font la toilette des raies Manta, tels les pique-bœufs sur le dos des buffles.

Or, que se passe-t-il actuellement, que Sciences et Avenir dénonce depuis longtemps ? Et dénonce à nouveau dans les 8 pages de ce cahier expert, en tant que partenaire de l'exposition consacrée aux requins du Musée océanographique de Monaco : c'est un dangereux massacre qui a lieu. Cent millions de spécimens sont tués chaque année dans le monde, aux trois quarts pour que leur soit prélevé leur fameux aileron ! On entend d'ici les ricaneurs, trouvant que l'apitoiement sur l'animal ne serait bon que pour les âmes sensibles. Et moins de requins égale bon débarras. Erreur fatale. Moins de requins, c'est moins de nettoyage, comme dit plus haut. Et comme le répètent les spécialistes du monde marin, c'est le risque de voir un jour les océans basculer. Prolifération des prédateurs intermédiaires s'attaquant aux herbivores cités plus haut. Prolifération des algues mangées par lesdits herbivores et étouffement des coraux - zones de reproduction majeure, sur lesquels elles poussent. Prolifération des parasites, virus ou bactéries propagés par des animaux malades non éliminés. Voire prolifération des méduses... Un océan devenu gélatineux, scénario digne d'un thriller gore. In fine - et c'est cela qui devrait faire tiquer, basculement possible pour les hommes eux-mêmes ! 800 millions vivent directement des ressources des océans, plusieurs milliards consomment les produits de la mer. Les requins, malgré qu'on en ait peur, c'est la vie. Leur disparition, voilà notre nouveau cauchemar.

100 millions de requins tués chaque année

70% des espèces sont menacées de disparition à cause de la surpêche. Alors que ces grands prédateurs sont indispensables à l'équilibre des écosystèmes marins.



© Guillaume Jannin

Selon l'association Bloom, plus de 3 millions de requins sont pêchés chaque année dans le monde pour fabriquer des cosmétiques.

Cent millions. C'est le nombre de requins tués chaque année dans le monde depuis plus de 20 ans, selon la FAO, l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture de l'ONU. Les trois quarts d'entre eux sont péchés uniquement pour leurs ailerons. Supposés détenir des vertus aphrodisiaques et curatives, ceux-ci sont consommés en grande quantité dans les soupes en Chine, important plus de 90% de la production mondiale. Cette seule partie du requin, se négociant autour de 600 euros le kilo à Hong Kong (qui vient de le retirer de ses menus officiels), a une valeur nettement supérieure à la carcasse. C'est pourquoi certains pêcheurs décident de prélever les ailerons du requin et de le rejeter à la mer, souvent encore vivant. Cette pratique cruelle, nommée « finning », accroît le risque de surpêche, les pêcheurs n'étant plus limités par le manque d'espace dans les cales de leur bateau. Elle est totalement interdite depuis juin dernier dans les eaux de l'Union européenne mais reste autorisée dans les autres pays.

90% de la population totale a disparu

Outre les ailerons, le requin est tué pour son foie qui renferme un lipide, le squalène, très prisé par l'industrie cosmétique qui a trouvé en lui un composant gras et hydratant qui ne colle pas. On le retrouve ainsi dans les crèmes hydratantes, antirides, rouge à lèvres... Selon ▶

POURQUOI LES ATTAQUES SUR L'HOMME AUGMENTENT-ELLES ?

D'une trentaine d'attaques par an avant les années 1990, on en dénombre environ 80 par an actuellement.

Même si les populations de requins régressent globalement au niveau mondial, les attaques sur l'homme, elles, ont augmenté. Pour les spécialistes, ce constat est lié à la forte augmentation du nombre de pratiquants de sports nautiques, comme les surfeurs. Sur l'île de La Réunion, cinq attaques ont eu lieu ces deux dernières années alors qu'auparavant, une seule attaque par an était recensée. En cause, le développement des activités de loisirs, dégradant les côtes et poussant les requins qui y vivaient, de petite taille et non agressifs, à se déplacer ailleurs. Or ce sont des espèces comme le requin-tigre et le requin-bouledogue, moins exigeantes en termes de milieu marin mais plus dangereuses pour l'homme, qui les ont remplacés. ■ L.L.

© Thierry Ameller

La plupart des espèces de requins (80%) ne sont pas considérées comme dangereuses.

l'association Bloom, plus de 3 millions de requins sont pêchés chaque année dans le monde pour répondre au marché des cosmétiques, le squalène se négociant autour de 10 euros le kilo. Le reste des prises est utilisé pour le cartilage, vendu sous forme de gélules censées soigner l'arthrose, la peau, parfois utilisée en maroquinerie de luxe, les dents en bijouterie et bien sûr la viande. En France, depuis une vingtaine d'années, les espèces les plus consommées sont le requin taupe commun, vendu sous le nom de « veau de mer », et l'aiguillat commun baptisé « saumonette ». Ce dernier, très abondant il y a encore 30 ans, est devenu une espèce vulnérable. Selon la FAO, depuis les débuts de la pêche industrielle il y a un siècle, 90% de la population totale de requins a disparu. Actuellement, sur environ 465 espèces, 70% sont menacées de disparition. « Une vingtaine d'espèces sont actuellement classées en Danger Critique d'Extinction dans la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature », souligne Bernard Séret, spécialiste des requins au Muséum national d'histoire naturelle de Paris. Parmi ces espèces figurent les poissons-scies, dont l'habitat a été sévèrement dégradé par le développement côtier et la pollution. « La surpêche, le commerce des ailerons et du squalène, ne sont pas les seules menaces qui pèsent sur les requins, explique Bernard Séret. La destruction des habitats côtiers, notamment les mangroves qui peuvent servir de nurserie, et la pollution marine, qu'elle soit due à des substances chimiques rejetées par les industriels ou des objets comme les sacs plastiques, posent également problème. »

Des menaces accentuées par le cycle de reproduction

La plupart des espèces de requins atteignent leur maturité sexuelle tard, après plusieurs années (à 10 ans pour le grand requin blanc), ont une durée de gestation longue (pouvant durer jusqu'à 1 an) et mettent au monde peu de petits. Leur taux de renouvellement est donc très faible et ne permet pas de compenser la mortalité importante provoquée par l'action de l'homme. En 400 millions d'années d'existence, le grand prédateur des océans n'a pas développé de stratégie de reproduction pour lutter contre la prédation, puisqu'il y a encore un siècle, il n'avait pas de prédateur. Or, si les requins figurant tout en haut de la chaîne alimentaire disparaissent, les écosystèmes marins s'en trouveront bouleversés. D'abord parce qu'ils possèdent un rôle clé, puisqu'ils nettoient les océans des proies blessées ou malades, et en préservent ainsi des populations saines. De plus, si les requins ne régulent plus certaines populations de poissons carnivores, ces derniers se nourriront davantage de poissons consommateurs d'algues et de méduses, ce qui provoquera à terme une invasion d'algues et de méduses dans les océans. Et pour l'homme, la consommation de poissons, fruits de mer, crustacés se fera plus rare. Or, huit cent millions de personnes vivent actuellement de la ressource des océans. Utile aux hommes dans bien des domaines, le requin ne constitue pas une réelle menace pour celui-ci.

■ **Lise Loumé**

Musée océanographique de Monaco

« Venez caresser un requin ! »

Montrer que les requins sont moins dangereux qu'en danger, c'est le pari de «Requins : l'expo-sensation». Divertissante, cette exposition veut aussi éduquer, transformer le regard sur cet animal redouté, aujourd'hui en trop grand danger. Un pari réussi !

A première vue, l'idée de caresser un requin peut sembler aussi dangereuse que saugrenue. En réalité, il s'agit d'une expérience à la fois étonnante au plan sensoriel, excitante et amusante, car le requin est un animal facétieux !
Ce «bassin aux caresses», c'est le clou de «Requins, l'expo-sensation» organisée par le Musée océanographique de Monaco, qui a pour but de sensibiliser le public au sort de ces animaux en danger (lire page IV)...
Plus précisément, cette superbe exposition veut faire passer le message suivant : Est-ce qu'un requin est dangereux ? Oui, certains peuvent l'être. Mais bien moins que ce que l'on pense généralement. En revanche, le requin est en grand danger, par la faute de l'homme. Et son éventuelle disparition ne serait pas sans graves conséquences environnementales et économiques.

© Thierry Arnellier

Lisse et douce dans un sens, la peau est très rugueuse dans l'autre.

Moins dangereux qu'en danger

Le requin a mauvaise presse. Chaque fois qu'un nageur ou un surfeur est victime de l'attaque de l'un de ces prédateurs des océans, cela fait les gros titres des journaux et l'on entend des voix réclamer leur éradication de la surface du globe.
Pourtant, les requins ne font qu'une dizaine de morts par an, soit beaucoup moins que d'autres animaux : pendant le même laps de temps, les méduses tuent 50 personnes, les hippopotames ou les chiens 500, les crocodiles 2 000, les serpents 100 000 ! Et il ne viendrait à l'idée de personne de réclamer la disparition de ces espèces. En outre, le plus mortel se révèle être... le moustique. Malgré leur petite taille, les moustiques, par les maladies qu'ils véhiculent, et notamment le paludisme, sont les animaux tueurs les plus redoutables, avec plus de 800 000 morts chaque année.
Alors, pourquoi cette fascination, cette focalisation sur les requins ? Bien sûr, les films tels que «Les dents de la mer» ont joué un rôle crucial dans la manière dont nous appréhendons ces seigneurs des mers. Quant à l'aspect «machine à tuer» de ces fabuleux animaux, il ne manque pas d'impressionner : le requin peut être à la fois beau et effrayant.
Un grand requin blanc (l'une des cinq espèces de requins susceptibles d'attaquer et de tuer

© Thierry Ameller

Une fresque interactive de 20 mètres de long fait découvrir les diverses espèces.

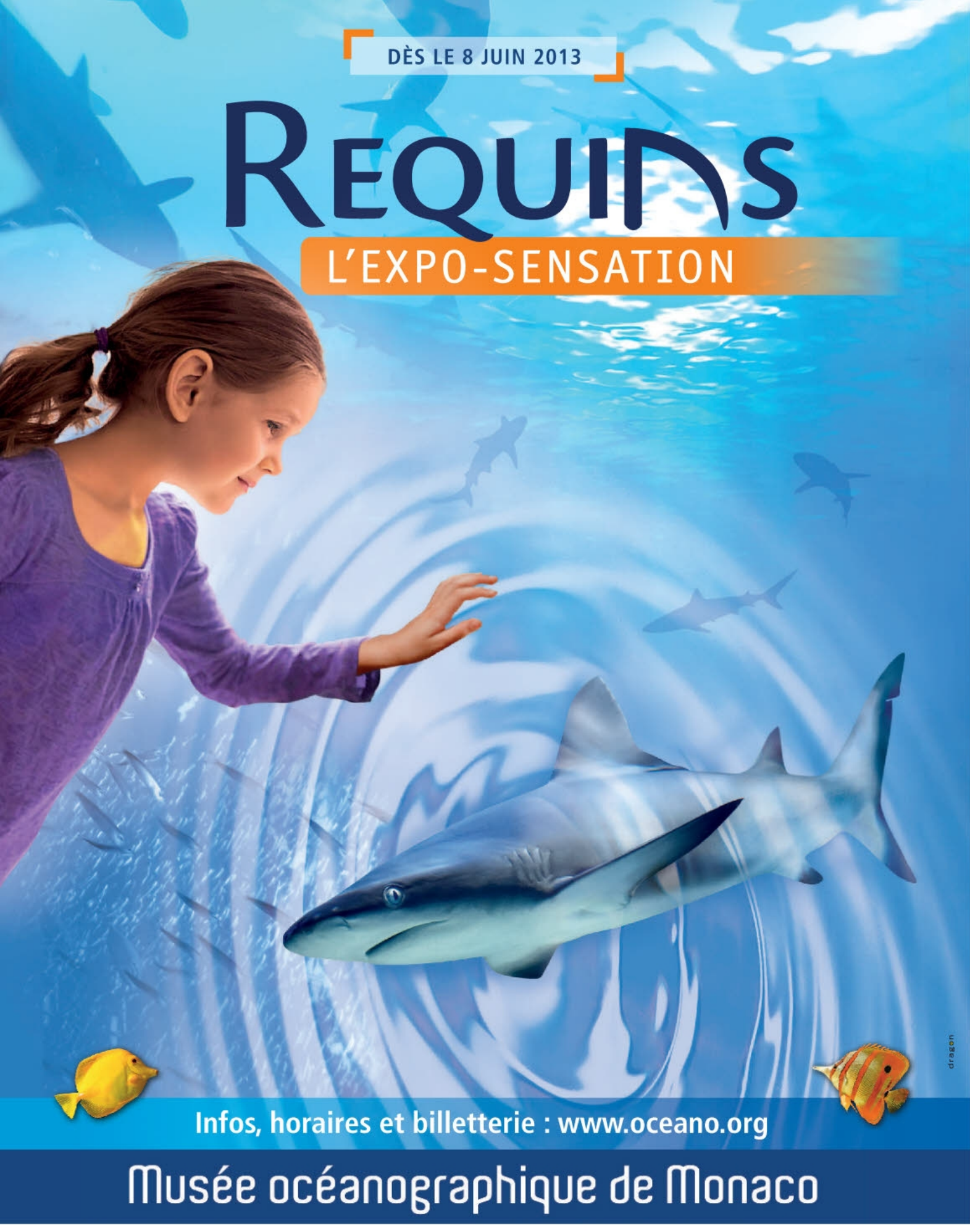
un homme, avec les requin mako, requin-tigre, requin-bouledogue et requin longimane) peut se révéler dangereux. Mais, les 100 millions d'individus tués chaque année, aux trois quarts pour leurs ailerons, est un chiffre inacceptable. Le requin joue un rôle crucial dans nos océans. Il se situe tout en haut de la chaîne alimentaire. En effet, certains pêcheurs des côtes atlantiques des Etats-Unis ont déjà pu tester à leurs dépends les conséquences économiques de l'éradication des requins de leurs eaux. Ils ont vu la totalité du cheptel de coquilles Saint-Jacques local disparaître, gobé par des prédateurs dont la population n'était plus régulée par les requins – et ils ont dû mettre la clé sous la porte... En somme, le requin est utile, à l'équilibre des milieux sous-marins comme à notre économie.

Le fabuleux bassin des caresses

Comment faire, alors, pour sensibiliser le public au sort des requins et faire comprendre l'importance d'assurer leur survie, menacée par la pêche industrielle ? Le Musée océanographique de Monaco s'est attelé à la tâche en élaborant une exposition, ouverte depuis le 8 juin dernier, qui permet de découvrir l'univers des requins sous de multiples aspects.
Le principal, et le plus étonnant, c'est le fameux bassin des caresses. Dans une pièce faiblement éclairée, un immense bassin de 8 mètres sur 3, conçu dans une matière transparente, permet d'observer la quinzaine de requins s'y ébattre (de trois espèces différentes,requins pyjama, requins léopard rayé et émissoles tachetées) et donc de les caresser ! Une expérience étonnante. Passé la première appréhension, on prend plaisir à toucher ces bêtes fascinantes (ne dépassant pas ici 70 cm de longueur). Et l'on ne manque pas d'être surpris par la texture de leur peau, aussi lisse et douce dans le sens de la nage qu'elle se montre rugueuse, voire râpeuse, en sens inverse. On se surprend même à rechercher ce contact, d'autant plus facile que les requins viennent facilement à la rencontre de la main plongée dans l'eau, non pour la croquer mais bien pour obtenir sa part de caresses. En fait, le plus grand «risque», c'est celui d'être éclaboussé par un requin joueur !

L'EXPO EN PRATIQUE

Musée Océanographique de Monaco, av. St-Martin, Monaco, www.oceano.org
Horaires : ouvert tous les jours (sauf 25 décembre et week-end du grand prix de F1) de 10 heures à 18 heures, 19 heures ou 20 heures 30 selon les mois.
Tarifs : adultes, 14 €, enfants 4 à 12 ans 7 €, jeunes/étudiants 10 €, personnes à mobilité réduite 7 €, moins de 4 ans, gratuit.



HUBLOT
Façonnable
CMB
SCIENCES AVENIR
Aujourd'hui
bleu
nippura
FONDATION PRINCE ALBERT II DE MONACO
PRINCIPAUTÉ DE MONACO

Découvrir l'univers des requins

Autre attraction de l'exposition, un immense aquarium de 450 000 litres dans lequel nagent paisiblement plusieurs variétés de requins, dont un requin nourrice de 3 m de long, parmi toutes sortes de poissons pas plus impressionnés que cela par leur présence. Dans la «Salle de la baleine» qui regroupe une bonne part de l'exposition, ne manquez pas l'immense fresque interactive (20 m de long sur 3 de haut) sur laquelle des requins représentés de manière très réaliste s'ébattent paisiblement, puis quand un visiteur se place sur le tapis qui borde cet aquarium imaginaire, il peut voir l'un des requins se colorer et s'animer, et toutes sortes d'informations sur son comportement et sa biologie s'afficher. Dans la même salle, la «galerie des sourires» donne à voir d'impressionnantes mâchoires de requins de toutes tailles ainsi que divers requins naturalisés. Certains d'entre-eux peuvent aussi être touchés, ce qui permet une nouvelle fois de constater l'extraordinaire ruguosité de leur peau – qui servait autrefois en Italie à raper le parmesan ! S'ajoutent à cela des fossiles datant de plus de cent millions d'années ainsi que des vidéos montrant ce que pourrait être un futur sans requin, avec une mer infestée de méduses, ou l'épouvantable «technique» des «finning», qui consiste à découper à vif les ailerons d'un requin avant de le relâcher en mer, où il agonisera de longues heures (âmes sensibles s'abstenir...).

Bruno Ferret

“Si nous les détruisons, nous nous détruisons aussi.”

© Thierry Ameller

Robert Calcagno
Directeur général de l'Institut Océanographique

Quel est le message que veut faire passer cette exposition ?

Robert Calcagno – Il y en a trois. D'abord, montrer que le requin n'est pas ce tueur sanguinaire décrit dans les Dents de la mer. Certes, il n'est pas inoffensif, un grand requin blanc peut croquer un humain mais, la plupart du temps, il n'en a pas envie. Deuxièmement, montrer qu'ils sont menacés. Le requin a un rythme de reproduction très lent et la population souffre de la pêche. Au rythme actuel, il pourrait disparaître en quelques dizaines d'années. Enfin, nous voulons montrer que le requin est utile aux écosystèmes des fonds marins : si l'on enlève cette clé de voute de la chaîne alimentaire des océans, tout s'écroule et l'on se retrouve avec un océan plein d'algues et de méduses. Plus globalement, nous voulons amener les visiteurs à s'interroger sur notre rapport à la nature : si nous la détruisons, nous nous détruirons aussi.

Au bout de trois mois d'exposition, quel premier bilan pouvez-vous dresser ?

R. C. – L'exposition est un grand succès. Depuis son ouverture, nous avons constaté une augmentation de 15 % de la fréquentation du musée par rapport aux autres années, avec plus de 300 000 visiteurs en trois mois. En outre, les enquêtes que nous avons menées auprès des visiteurs montrent un fort taux de satisfaction : en moyenne, ils attribuent une note supérieure à 7/8 à l'exposition. Et notre message est bien passé. Nous avons d'une part pu constater que l'image du requin n'est finalement pas si mauvaise que cela aux yeux du public et que celui-ci comprend bien que sa disparition aurait des conséquences négatives pour l'homme. Et, d'autre part, que l'exposition jouait très bien son rôle, en renforçant cette vision positive. Plus précisément, l'exposition permet au public d'appréhender le fait que les requins sont menacés et qu'ils peuvent cohabiter avec l'homme.

Le bassin des caresses est sans aucun doute le clou de l'exposition. Mais les requins ne se fatiguent-ils pas des incessantes sollicitations des visiteurs ?

R. C. – Pour éviter cela, nous établissons un roulement entre deux «équipes» de requins, qui se relayent dans le bassin. Ainsi, ils peuvent se reposer et retrouver ensuite tout leur intérêt pour les caresses des visiteurs !

Montier

21.22
23.24
novembre
2013

17e
Festival photo animalière et de nature

photo de Laurent Ballesta & compléments dessinés par Jean Chevallier

Champagne-Ardenne | Haute-Marne

Partenaires institutionnels

Partenaires privés

Partenaires médias

Partenaires techniques

Renseignements : +33 (0)3 25 55 72 84 ■ www.festiphoto-montier.org

Heineken®
open your world**

PUBLICIS CONSEIL RCS Nanterre 414 642 662

*2009 : HEINEKEN CRÉE SA BOUTEILLE À BOUCHON À VIS REFERMABLE VENDUE EN FRANCE AU RAYON FRAIS.
**OUVRIR UNE HEINEKEN, C'EST CONSOMMER UNE BIÈRE VENDUE DANS LE MONDE ENTIER.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.